VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

Bauphysik
Planung und Anwendung

Строительная физика



Москва
Стройиздат 1982

Bauphysik
Planung und Anwendung

von

Prof. Dr.-Ing. Erich Schild
Dipl.-Ing. H.-F. Casselmann
Dipl.-Ing. Günter Dahmen
Dipl.-Ing. Rainer Pohlenz

Friedr. Vieweg & Sohn Braunschweig/Wiesbaden

Е. Шильд
Х.-Ф. Кассельман
Г. Дамен
Р. Поленц

Строительная физика

Перевод с немецкого
В. Г. Бердичевского

Под редакцией
д-ра техн. наук
Э. Л. Дешко

Москва Стройиздат 1982

ББК 38.113
С 86
УДК 69 : 53

Рекомендовано к изданию НИИ строительной физики Госстроя СССР.

Строительная физика / Е. Шильд, Х.-Ф. Кассельман, Г. Дамен, Р. Поленц; Пер. с нем. В. Г. Бердичевского; Под ред. Э. Л. Дешко. — М.: Стройиздат, 1982. — 296 с., ил.
С 86

В книге специалистов ФРГ изложен комплекс проблем строительной физики, даны рекомендации по ее практическому применению при проектировании зданий. Рассмотрены тепло- и пароизоляция сооружений, деформация конструктивных элементов, освещение зданий, инсоляция и солнцезащита, звукоизоляция и акустика помещений. Приведены примеры расчета и проектирования конструкций, даны рекомендации по применению строительных материалов.

Для инженерно-технических работников проектных организаций.

С $\frac{3202000000-540}{047(01)-82}$ 94—82

ББК 38.113
6С1

© Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig, 1979
© Перевод на русский язык. Стройиздат, 1982

СТРОИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА — ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ

Причины написания книги. Кафедра строительных конструкций Высшей технической школы Аахена проводит научные и практические работы по проблемам, связанным с повреждениями в строительстве. С 1972 г. по заказу Министерства внутренних дел земли Северный Рейн — Вестфалия (СРВ) исследуются масштабы различных повреждений в строительстве, в том числе проводятся специальные исследования конструкций крыш, террас на крышах, балконов, наружных стен и открытых связей, а также подвалов и дренажей. Результатом явились рекомендации по конструированию и производству работ [53, 54, 269—274]. Наряду с этим сведения о повреждениях в строительстве, их размерах и причинах возникновения собирались в ходе многочисленных судебных экспертиз.

Существенный момент, который приводит к ошибкам при проектировании и возведении зданий — недостаточный учет требований строительной физики и неумение анализировать, давать правильную качественную и количественную оценку этим требованиям, делать из них соответствующие выводы.

Особые трудности, как убедились авторы, общаясь с архитекторами и инженерами, повышающими свою квалификацию, возникают при получении заданий на проектирование по строительной физике.

Архитекторы и инженеры применяют на практике новые строительные материалы, информация о которых или отсутствует, или имеется в недостаточном объеме. Использование новых видов конструкций, часто в сочетании с новыми строительными материалами, приводит к неизвестным ранее с точки зрения строительной физики последствиям. Поэтому необходимо знать об особенностях эксплуатации материалов и конструкций, чтобы предотвратить появление повреждений.

Содержание и цель книги. В трех основных разделах представлены реальные задания на проектирование, в которых после рассмотрения основных положений приведены принципиальные проектные и конструктивные решения и на практических примерах разработаны соответствующие рекомендации.

Основная идея этой публикации заключается не в изложении научных основ и возможных дифференцированных оценок. Для этого дополнительно указана соответствующая литература. После раздела «Основные положения» приведен необходимый минимум теоретических положений и, главное, дана систематизированная последовательность их применения, хотя и без чисто рецептивных указаний.

Подбор материала. Объем материала по каждой из трех главных обсуждаемых проблем определен с точки зрения практических проектных заданий. К этим проблемам относятся: теплозащита (теплопередача и образование конденсата в поперечном сечении и на внут-

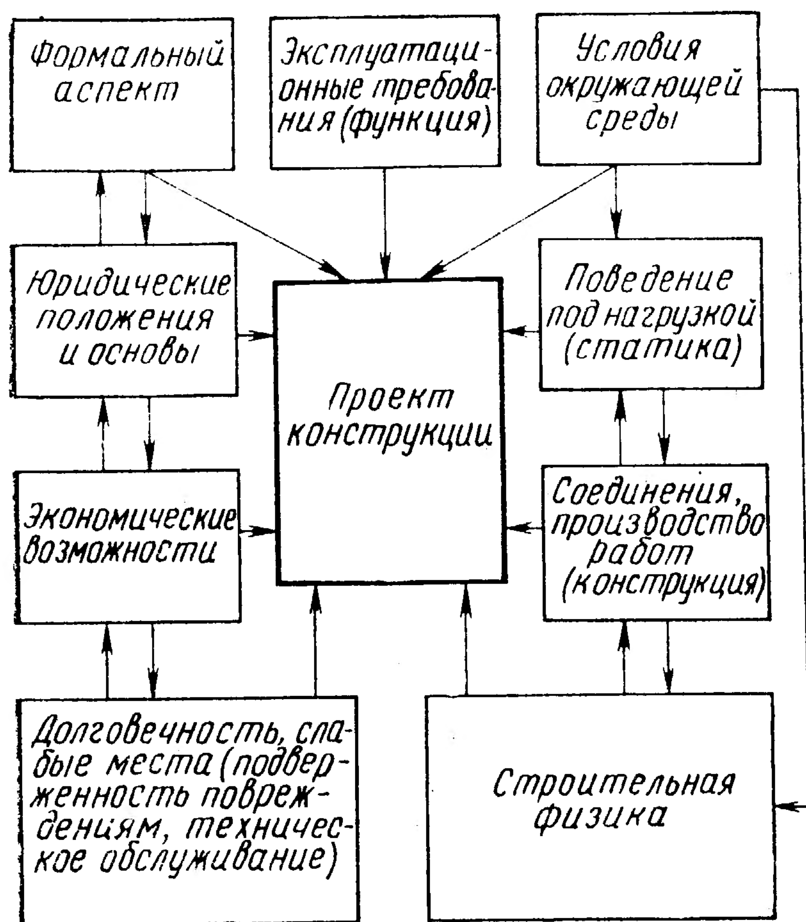


Рис. 1.

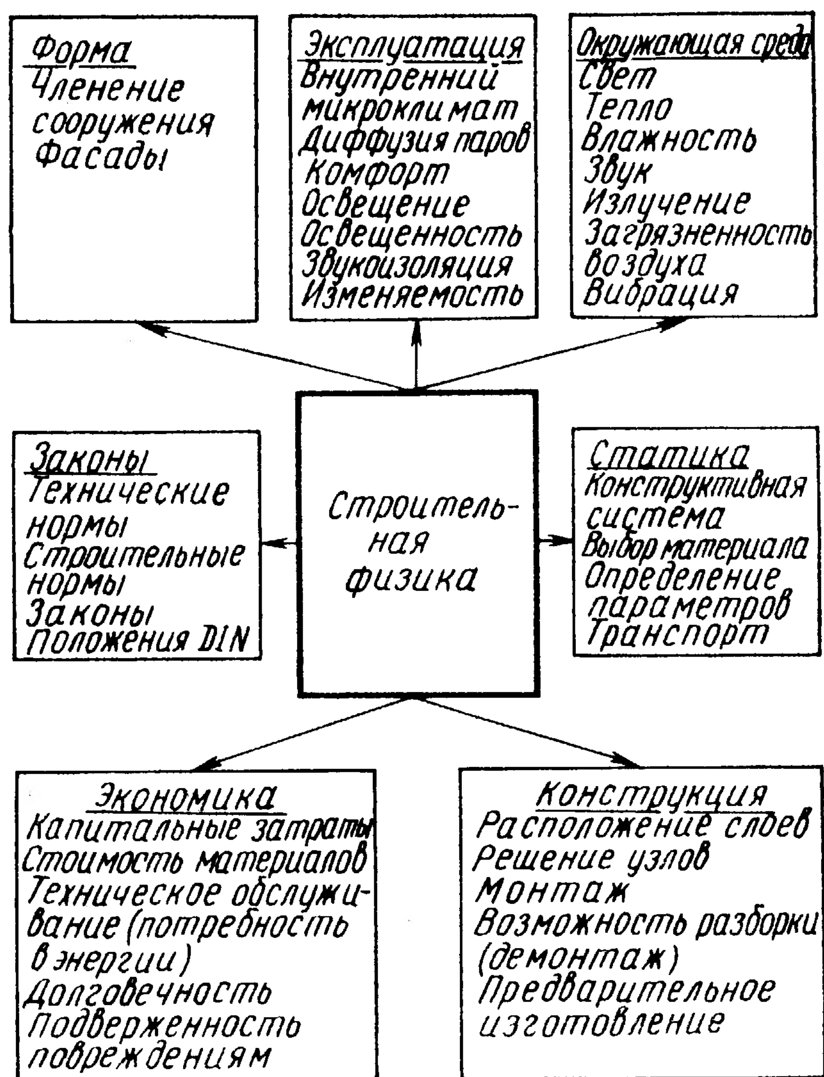


Рис. 2.

ренней поверхности), деформация, инсоляция (солнечный нагрев и солнцезащита), звукоизоляция и акустика помещений.

В настоящее время большая часть действующих положений норм DIN пересматривается, изменяется, дополняется или модифицируется. Хотя в определенной мере еще действуют установленные ранее предельные границы стоимости и допустимые нагрузки, в книге представлены и рассмотрены альтернативные пути решения проблем строительной физики и новые тенденции развития.

Излагаемый материал трех основных разделов включает только такие области, которые имеют отношение к проблемам, интересующим инженеров и архитекторов, или могут быть использованы в решениях, принимаемых ими (расчеты, доказательства и детали конструкций).

Место строительной физики. Углубленное и специальное изучение любой научно-технической дисциплины, которое необходимо при проектировании и возведении надземных зданий, содержит опасность переоценки ее фактического значения или приводит к неразрешимым способам рассмотрения.

Исследование основ строительной физики имеет большое значение, которое, однако, не переоценивается авторами. В предлагаемой книге внимание уделено применению строительной физики на практике. В основе заданий для архитекторов на разработку проекта здания лежит использование функциональных связей и архитектурной формы (рис. 1).

Строительная физика имеет большое значение не только как дополнительная служебная техническая дисциплина, которая дает

возможность правильно решать свои собственные задачи, но и, при понимании ее проблем, помогает архитектору и инженеру находить правильное решение более общих задач.

Основы строительной физики должны быть учтены при выборе конструкций и строительных материалов, поскольку их воздействие является взаимным. Примером может служить определение конструкции стен или кровли. Часто встречающаяся ошибка состоит в том, что в процессе проектирования не учитывают положений строительной физики. Это приводит к непроизводительным потерям времени и труда, поскольку готовый проект дополнительно проверяется на соответствие требованиям строительной физики. Выявленные после такой проверки изменения могут коренным образом изменить проектную концепцию. Таким образом, рациональным должно быть только совместное решение задач строительной физики и непосредственно задач проектирования (рис. 2).

Расчеты по строительной физике. Использование положений строительной физики архитекторами и инженерами дает им возможность приближенными расчетами определять различные физические воздействия, например, при оценке изолирующей способности, температуры на границе слоев, давления пара, количества конденсирующейся влаги, а также получать характеристики звукоизоляции, затенения или аккумулирующей способности помещений. Важно, чтобы такие методы расчета, оставаясь приближенными, обеспечили достаточно надежные решения.

Результаты расчета зависят от принятых предпосылок и условий соответствующих способов расчета. Каждый проектировщик должен поэтому знать, где лежат границы и недостатки таких приближенных расчетов. При необходимости максимальной экономии средств, особенно при осуществлении крупных проектов, для производства точных расчетов необходимо привлекать инженера — специалиста по строительной физике. Основываясь на собственном опыте, авторы советуют не стремиться к общим методам расчета, результаты которых могут оказаться слишком близкими к пределу стоимости проекта.

Авторы задавались вопросом, является ли необходимым издание данной книги ввиду того, что, как отмечалось выше, различные указания и методы расчета находятся в стадии переработки, внесения изменений и обновления. Не говоря о том, что введение новых норм DIN потребует до окончательного ввода в действие нескольких лет переходного периода, все разделы этой книги расположены таким образом, что изменяемые определения, указания и методы расчета при формировании заданий на проектирование и изменения в последовательности действий в примерах могут быть легко внесены в текст.

Область ответственности — вопросы права. До конца 1976 г. действовал установленный с 1950 г. [49] порядок вознаграждения деятельности архитекторов, который в то время характеризовался тем, что отдельные виды и этапы работы оценивались в процентах.

Благодаря этому косвенно определялся удельный вес отдельных работ. Так, 10% общей суммы вознаграждения причиталось за форпроект, 20% за проект, 10% за предложения по строительству, 10% за расчеты объемов и стоимостей, 25% за выполнение чертежей, 15% за художественное руководство и 10% за техническое и хозяйственное руководство.

Действующий с 1977 г. порядок выплаты гонорара архитекторам [61] отличается более детальным членением видов деятельности и их удельного веса как для самой работы, так и для взаимной оценки деятельности. При проектировании зданий введены следующие оценки: определение оснований — 3%, предварительное планирование (проектная и плановая подготовка) — 7%, планирование проектных работ (системное и интегральное планирование) — 11%, согласования на этапе планирования — 6%, собственно проектирование (разработка и представление окончательно выработанных проектных решений) — 25%, подготовка передачи (определение объемов и составление номенклатуры работ) — 10%, содействие при передаче — 4%, надзор за объектом (стройнадзор) — 31%, заботы об объекте и документации — 3%. Как видно, установлены повышенная оценка надзора за объектом (стройнадзор) и дифференцированное разделение этапов проектирования.

Что означает это распределение стоимости работ для архитекторов в отношении выполняемых ими разработок, расчетов и проектирования по вопросам строительной физики и где лежит граница между их деятельностью в этом направлении и деятельностью инженера или специалиста, работающего в области строительной физики?

В рамках проектирования архитектор перерабатывает результаты последовательной разработки и представления решения с точки зрения градостроительных, архитектурных (эстетических), функциональных, технических, строительно-физических, экономических, энергетических, биологических и экологических требований с учетом вклада участвующих в проектировании специалистов до принятия окончательного решения. Если архитектор должен принимать во внимание требования строительной физики и энергетического хозяйства (в определенных случаях с учетом вклада других специалистов), то ему необходимо иметь представление о проблемах, связанных с этими вопросами, качественно и количественно оценить важнейшие проблемы строительной физики путем проведения сметных расчетов.

На долю инженера выпадают детальные и четко описанные задачи по решению проблем строительной физики в рамках его работы при проектировании несущих конструкций. При этом принята следующая оценка отдельных этапов: расчет оснований — 3%, предварительное проектирование (системное и интегральное), выработка решений для несущих конструкций (с приближенными статическими расчетами) — 12%, согласование, выполнение и сопоставление статических расчетов с контрольными показателями для

проверки — 30%, выполнение проектирования — 26%, выполнение опалубочных чертежей для железобетонных конструкций — 16%, подготовка передачи — 3%.

Работа по учету требований строительной физики, проверок и расчетов предусматривается в процессе проведения согласований в рамках основной работы путем выполнения проверочных статических расчетов несущих конструкций с учетом предварительно утвержденных разработчиком объекта требований строительной физики. Эта формулировка, таким образом, содержит в себе и задание для разработчиков проекта, которые выдвигают требования строительной физики. Одновременно это означает знание всех физических воздействий на сооружение и его конструкции.

В рамках особых работ инженер должен привести доказательства выполнения требований строительной физики, например, пожаро-, тепло- и звукозащиты, которые в должной мере не были получены от участвующих в проектировании специалистов. Это требует особого, более широкого участия в работе инженера. При разграничении или распределении задач между архитектором, инженером или инженером — специалистом по строительной физике при решении вопросов строительной физики на практике встречаются трудности из-за не очень ясного ограничения сферы их деятельности.

При передаче основных работ инженеру в рамках его деятельности при проектировании несущих конструкций (без привлечения инженера — специалиста по строительной физике) он принимает во внимание только получаемые от проектировщика объекта требования по строительной физике, связанные с выполнением статических расчетов.

Особенно проблематичны расчеты по строительной физике, необходимость выполнения которых хотя и понимается архитектором и инженером, но в описанном выше распределении работ представлены нечетко. К ним относятся: проверка ядра конденсации (количественные расчеты, признаки повреждений и т. д.) в строительных конструкциях (крышах и стенах); расчеты микроклимата помещений и установление достаточной солнцезащиты; проверка температурных напряжений и необходимость в связи с этим конструктивных мероприятий. Поэтому для предотвращения ошибок, проявляющихся в виде повреждений конструкций, необходимо назначать такие проверки в качестве четко обусловленных заданий и привлекать к выполнению особых работ соответствующих участников проектирования. Кроме того, при анализе содержания работы архитекторов и инженеров становится ясно, что основными понятиями и средствами примерной расчетной проверки требований строительной физики должны владеть все: и архитекторы, и инженеры.

В последние годы в практике деятельности судебных органов ФРГ при оценке ответственности архитекторов и инженеров исходят из следующего. В случае ошибок, которые являются следствием учета требований строительной физики, если в соответствии с договором для выполнения проверок и расчетов с четким установ-

лением их вида и объема не было предусмотрено совместное участие архитекторов и инженеров, к ответственности могут быть привлечены обе группы специалистов.

Когда выполнение проверок и расчетов по строительной физике предусматривалось в виде дополнительных работ, судебные органы все же ставили вопрос: должны и были ли в состоянии и в каком объеме участвующие в проектировании лица предвидеть очевидные ошибки?

Наконец, следует отметить, что все включенные в эту книгу разделы, содержание которых относится к прикладной профессиональной деятельности архитекторов и инженеров, ограничиваются проектированием объекта.

Указания по пользованию книгой. В трех главных разделах приведены формулировки задач проектирования, затем — основные положения и вытекающие из них указания по конструированию и проектированию. После сопоставления требований и оценок следуют примеры применения. Такое повторяемое в каждом основном разделе и подразделах членение дает возможность читателю получить необходимые для конкретных задач проектирования решения и рекомендации.

Читателю остается определить, при решении каких задач проектирования применить соответственно рекомендации по конструированию и проектированию и примеры, а в каких использовать основные положения, чтобы дополнить имеющуюся информацию. При самостоятельном изучении поставленных задач читатель может извлечь необходимые сведения из указанных авторами литературных источников.

Все данные о материалах, сведения о температуре, влажности воздуха и допустимом уровне шума сконцентрированы в специальном разделе в виде таблиц. Все другие таблицы, графики и диаграммы расположены по тексту. Список литературы не претендует на исчерпывающую полноту.

Часть I

ТЕПЛОЗАЩИТА

ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

При проектировании всех ограждающих элементов наряду с соображениями, касающимися конструкции, выбора материала, статических нагрузок и архитектурной формы, необходимо рассматривать вопросы достаточной теплозащитной способности. К этим требованиям установлены обязательные с точки зрения строительного контроля проверки, в том числе и проверка достаточности теплозащиты с определением минимальной и повышенной теплозащиты. Кроме того, заказчиком, архитектором или инженером может быть оговорена максимальная величина теплозащиты, которая называется полной теплозащитой.

Минимальная теплозащита сплошных или с замкнутыми полостями конструкций означает, что их теплоизолирующая способность должна обеспечить минимум теплопередачи, определяемый по DIN 4108 с дополнениями, причем расчеты следует проводить раздельно для всех ограждающих конструкций.

Повышенная теплозащита предполагает, что потери тепла через всю наружную оболочку здания не превышают определенного, установленного постановлением по теплозащите максимального значения. В этом случае проводят проверку расчетом среднего коэффициента теплопередачи $K_{ср}$ или $K_{ср.\ ст\ +\ ок}$. Возможны два альтернативных варианта расчета, причем первая альтернатива предоставляет проектировщику наибольшую свободу при проектировании конструкций ограждения, так как существует возможность рассчитать конструкцию минимальной теплозащитной способности, которая обеспечивает достаточно высокую изоляцию. Но и в этом случае теплозащита не может быть, однако, меньше минимальной при проектировании любой отдельной конструкции.

Требования к полной теплозащите при проектировании должны обеспечить разность температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности (сплошной или с замкнутыми пустотами) конструкции стены или кровли не более чем 3°. По этому критерию в помещении с повышенным сопротивлением теплопередаче будет создаваться ощущение комфорта. Расчеты выполняются раздельно для стен и кровли.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Теплоизолирующая способность отдельной конструкции. Температура t,°C является одним из основных параметров физики. Два тела имеют равную температуру, если при взаимном контакте никакая тепловая энергия не передается от одного тела к другому. Температура вещества или газа означает меру кинетической энергии

его атомов и молекул. В физическом смысле рационально задавать температуру в единицах измерения Кельвина К, причем температурный интервал 1 К и 1° С идентичны, но при строительном проектировании это затруднительно. 0,00° С соответствует 273,16 К.

При расчетах теплозащиты температура выступает в качестве климатических условий в виде наружной температуры $t_н$, °С (температуры омывающего сооружение наружного воздуха), а также внутренней температуры $t_в$, °С (температуры воздуха внутри помещения).

Следующим важным параметром является количество тепла Q (Вт · ч). Другими единицами измерения количества теплоты служат 1 джоуль (Дж) (1 Дж = 1 Вт · с = $2{,}78 \cdot 10^{-4}$ Вт · ч) и 1 килокалория (1 ккал = 1,16 Вт · ч).

Теплопередача через конструкцию происходит всегда, если температура обеих ее поверхностей неодинакова. Количество тепла Q (Вт · ч), проходящее через однородную конструкцию при постоянной разности температур Δt, вычисляется по формуле

$$Q = \lambda \frac{tF\Delta t}{d}, \qquad (1)$$

где F — площадь слоя конструкции, м²; d — толщина слоя, м; Δt — разность температур между поверхностями слоя конструкции, °С; t — продолжительность теплопередачи, ч; λ — коэффициент теплопроводности, Вт/(м·° С) (он обозначет специфическую для строительного материала способность к передаче тепла, см. табл. 1 приложения).

Чем толще слой конструкции (d), тем меньше теплопередача Q при прочих равных условиях. Это вытекает из формулы (1). То же самое произойдет при уменьшении коэффициента теплопроводности λ. Если все остальные величины в формуле (1) (время, площадь и толщина конструкции) будут постоянными, то величина Q обратно пропорциональна d/λ.

Свойство слоя конструкции, которое характеризует возможность уменьшения проходящего через него количество тепла Q, называют теплоизолирующей способностью. Она определяется коэффициентом d/λ. Чем больше эта величина, тем лучше теплоизолирующие свойства слоя конструкции. Коэффициент d/λ используется для определения термического сопротивления Λ (м² ·°С/Вт) (рис. 3), которое характеризует теплоизолирующую способность однослойной или многослойной конструкции.

Если вся конструкция однослойная, то

$$\frac{1}{\Lambda} = \frac{d_1}{\lambda_1}. \qquad (2)$$

Для многослойной конструкции с частными термическими сопротивлениями d_1/λ_1, d_2/λ_2, d_3/λ_3, ..., d_n/λ_n,

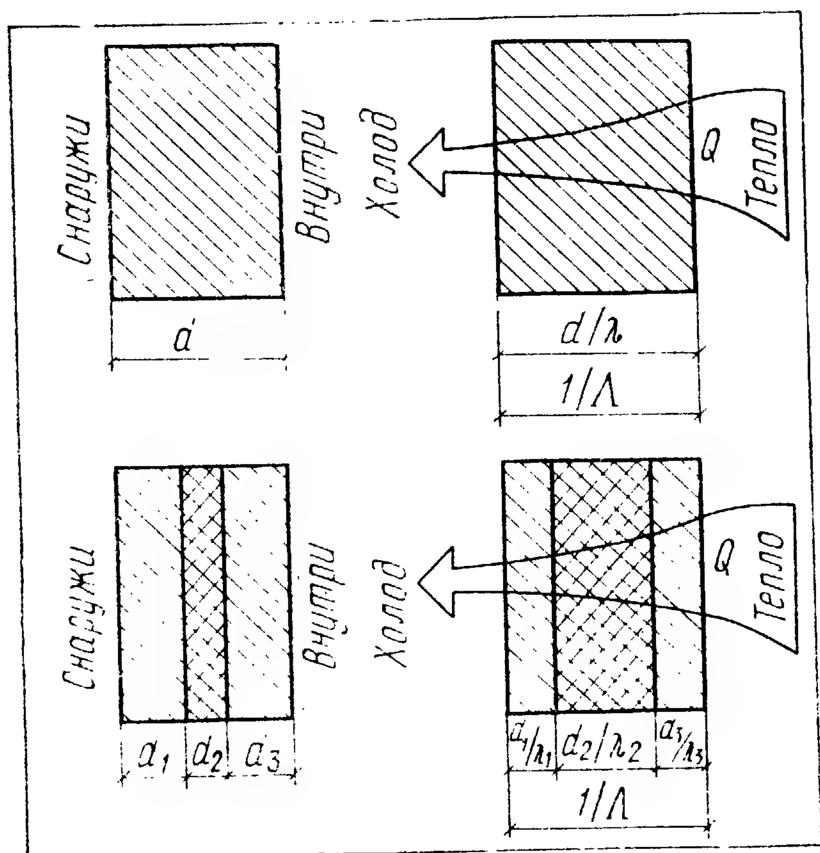


Рис. 3. Термическое сопротивление $1/\Lambda$. Мерой теплоизолирующей способности строительной конструкции служит не только толщина слоя d, но и частное $d/\lambda=1/\Lambda$ (для однослойной конструкции) или сумма всех $d_n/\lambda_n=1/\Lambda$ (для многослойной кострукции), т. е. термическое сопротивление

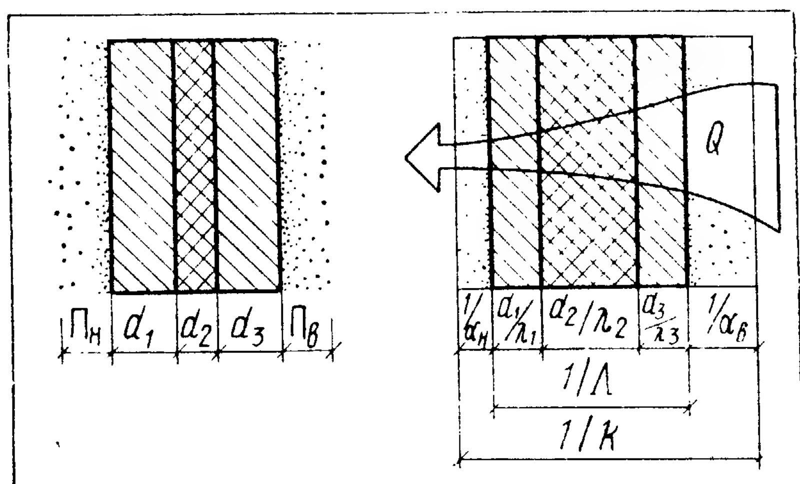


Рис. 4. Сопротивление теплопередаче $1/k$. Для характеристики теплоизолирующей способности конструкции в готовом виде необходимо знать ее сопротивление теплопередаче $1/k=1/\alpha_н+1/\Lambda+1/\alpha_в$

$$\frac{1}{\Lambda}=\frac{d_n}{\lambda_n}. \qquad (3)$$

Сопротивления теплопередаче было бы достаточно для характеристики теплоизолирующей способности наружного ограждения, если бы, согласно формуле (1), можно было исходить из того, что разность температур Δt действует непосредственно на поверхность конструкции. Этого в действительности не происходит.

Воздух внутри помещения температурой $t_в$ и наружный воздух температурой $t_н$ находятся вследствие конвекции или ветровых воздействий постоянно в движении. Эти потоки тормозятся перед поверхностью конструкции. Малоподвижный воздух имеет более высокую теплоизолирующую способность, чем быстро движущийся, поэтому зоны более медленного движения воздуха непосредственно перед поверхностью конструкции действуют как дополнительная теплоизолирующая подушка.

Для характеристики этих дополнительных теплоизолирующих слоев введено понятие сопротивления переходу $1/\alpha$ (м^2 · ^{0}С/Вт). При этом следует подчеркнуть, что оценка значения сопротивления тепловосприятию $1/\alpha_в$, для горизонтальных конструкций зависит от направления теплового потока. Для конструкции, граничащей с землей, сопротивление теплоотдаче $1/\alpha_н$ становится равным нулю. Оценки значений $1/\alpha$ приведены в табл. 2 приложения. Итак, сопротивления теплопередаче конструкций зданий определяются как сумма сопротивления теплоотдаче $1/\alpha_н$, термического сопротивления $1/\Lambda=\Sigma d_n/\lambda_n$ и сопротивления тепловосприятию $1/\alpha_в$ (рис. 4).

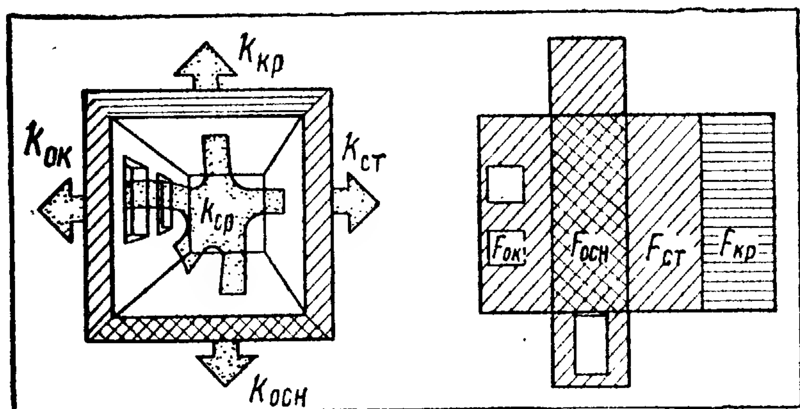


Рис. 5. Средние теплопотери здания $k_{ср}$ определяются через теплопотери отдельных конструкций, часть которых входит в общую поверхность здания. Уменьшение средних теплопотерь $k_{ср}$ требует проведения теплотехнических мероприятий для всех конструкций дома

Эта сумма называется сопротивлением теплопередаче $1/k$ ($м^2 \cdot °С/Вт$):

$$1/k = 1/\alpha_н + 1/\Lambda + 1/\alpha_в. \quad (4)$$

Сопротивление теплопередаче $1/k$ определяет защиту конструкций от потерь тепла нагретого внутреннего помещения зимой. С другой стороны, величиной, обратной сопротивлению теплопередачи $1/k$, являются потери тепла. Этой обратной сопротивлению теплопередаче $1/k$ величиной служит коэффициент теплопередачи k[Вт/ ($м^2 \cdot °С$)]. В строительной терминологии[1] эту величину называют также k-оценкой. Коэффициент k — это количество тепла $Q_в$ (Вт · ч), проходящее через 1 $м^2$ поверхности конструкции за 1 ч при разности температур между наружным и внутренним воздухом $\Delta t = t_в - t_н$, равной 1°. Значение k велико при расчете потребности тепла и при определении среднего коэффициента теплопередачи $k_{ср}$, который описывает средние теплопотери здания или конструкции с поверхностями, обладающими различной теплозащитной способностью.

2. Потери тепла через внешнюю оболочку здания. Наружная оболочка здания с общей площадью поверхности $F_{общ}$ складывается из отдельных площадей $F_1 + F_2 + F_3 + \ldots + F_n$, которые характеризуются различными k — оценками $k_1, k_2, k_3, \ldots k_n$. Среднее значение $k_{ср}$ наружной оболочки здания теоретически вычисляется по формуле

$$k_{ср} = \frac{k_1 F_1 + k_2 F_2 + k_3 F_3 + \ldots + k_n F_n}{F_{общ}}. \quad (5)$$

Для простой оценки общих практических потерь тепла поверхностью здания формула (5) пригодна в том случае, если все отдельные площади F_n подвержены воздействию одинаковой разности температур $t_в - t_н$.

Принимая во внимание, что зимние потери тепла крышами $k_{кр}$ меньше благодаря солнечному излучению, а поверхностями, граничащими с грунтом, благодаря более высокой его температуре, формула (5) видоизменится следующим образом [323, 382] (рис. 5):

$$k_{ср} = \frac{k_{ст} F_{ст} + k_{ок} F_{ок} + 0,8 k_{кр} F_{кр}}{F_{общ}} + \frac{0,5 k_{осн} F_{осн} + k_{кр_н} F_{кр_н} + 0,5 k_{аб} F_{аб}}{F_{общ}}, \quad (6)$$

[1] Строительная терминология, принятая в ФРГ. (*Прим. перев.*)

где $F_{ст}$ — площадь наружных стен, граничащих с наружным воздухом, которую принимают по наружному размеру здания. Высоту считают от поверхности грунта или, если нижнее перекрытие расположено выше поверхности грунта, от верхнего края этого перекрытия до верхнего перекрытия или внешнего края слоя изоляции; $F_{ок}$ — площадь окон (балконных дверей), которую определяют по размерам проемов в свету; $F_{кр}$ — площадь утепленной крыши или кровельного покрытия; $F_{осн}$ — площадь основания здания (поскольку последняя не соприкасается с наружным воздухом, ее определяют по наружному размеру здания. В расчет включается площадь полов на грунте или при неотапливаемом подвале — перекрытие над подвалом. Если подвал отапливается, то в площадь основания здания $F_{осн}$ наряду с площадью подвального перекрытия следует включать часть площади стен); $F_{кн}$ — площадь покрытия, под которым здание соприкасается с наружным воздухом; $F_{аб}$ — площади, через которые части здания соприкасаются с помещениями с пониженными температурами (расположенными снаружи лестничными клетками, складскими помещениями и т. д.); $F_{общ}$ — сумма всех указанных площадей, принадлежащих к проектируемому зданию.

Коэффициент теплопередачи k отдельных частей поверхности рассчитывают так же по формуле (4), причем расчетные значения λ следует брать по DIN 4108 [321] (см. табл. 1 и другие приложения). Для конструкций, граничащих с грунтом, следует учитывать только сопротивление тепловосприятию $1/\alpha_в$ (см. табл. 2 приложения). Коэффициенты $k_{ок}$ для различных видов окон могут быть приняты по табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. КОЭФФИЦИЕНТЫ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ $k_{ок}$ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ОКОН, Вт/(м²·°С) [322, 382]

Остекление	Расстояние между стеклами $d_р$, см	Материал рам		
		дерево, пластмассы, древесные композиции	металлический профиль	
			с теплоизоляцией	без теплоизоляции, бетон
Изоляционное	0,6	3,3	3,5	—
»	1,2	3	3,3	3,5
Тройное	2×1,2	1,9	2	2,3
Двойное	2—4	2,6	2,8	3
»	4—7	2,3	2,6	2,8
»	$\geqslant 7$	2,6	—	—

Область применения. Окна площадью $\geqslant$ 1,6 м² с рамами, площадь которых составляет $\leqslant$ 25%, и окна площадью $\geqslant$ 5 м² с рамами, площадь которых составляет $\leqslant$ 15%. Для окон, площадь рам которых больше или значения $k_{ок}$ которых меньше, необходимы испытания.

При назначении коэффициентов теплопередачи оснований зданий $k_{осн}$ значительной площади ($F_{осн} \geqslant$ 500 м²) для расчета значений $k_{ср}$ служит упрощенный способ, рекомендуемый в [382], на котором здесь подробно останавливаться не будем. Различная трактовка значений коэффициентов теплопередачи и площадей разделительных стен при рядовой застройке или для блокированных зданий будет показана далее.

Формула (6) не гарантирует точного определения общих теплопотерь через наружную поверхность здания. В ней не учтена зависимость между теплопотерями здания и формой его наружной поверхности. Решающим является отношение утепляющей площади поверхности фасада $F_{общ}$ к охватываемому этой поверхностью объему здания V. Если отношение F/V или утепляющей наружной поверхности к замкнутому внутреннему объему велико, теплопотери также будут больше. Из формулы (6) видно, что коэффициенты теплопередачи $k_{кр}$, $k_{осн}$, а также $k_{аб}$ использованы с понижающими коэффициентами 0,8 или 0,5, благодаря которым теплоизолирующая способность соответствующих наружных конструкций при расчете значений $k_{ср}$ не оказывает сильного влияния. На этом основании окончательное выражение теплопотерь через фасадные конструкции (поверхности наружных стен и окон) получило определенное значение [322, 323, 382].

Средний коэффициент теплопередачи $K_{ср, ст+ок}$ наружных стен вычисляется как

$$k_{ср,\ ст+ок}=\frac{k_{ст}\,F_{ст}+k_{ок}\,F_{ок}}{F_{ст}+F_{ок}}. \qquad (7)$$

Смысл этого выражения связан с формулой (6). Средний коэффициент теплопередачи $k_{ср, ст+ок}$ рассчитывается не как $k_{ср.\ общ}$ для общей поверхности здания, а лишь для одного этажа. Аналогично для разделяющих стен см. раздел «Требования и оценки».

Чтобы сохранить гигиенически и физиологически оптимальный внутренний климат и уменьшить бесполезные потери тепла, необходимо как можно больше сократить передачу тепла через наружные конструкции или внешнюю оболочку здания.

3. Значение температуры внутренней поверхности. Большое значение для сохранения теплового баланса тела человека имеет температура внутренних поверхностей ограждений $t_{во}$; так как теплоотдача тела приблизительно на 90% осуществляется за счет излучения тепла[1]. При наличии холодных поверхностей, т. е. большой разницы температур между телом человека и окружающими конструкциями, происходит быстрое охлаждение тела. Эта ситуация ощущается как дискомфорт. Физиологически оптимальной ситуацией является совпадение температуры помещения с температурой поверхностей. Этого можно достичь зимой только путем обогрева самих наружных конструкций. Во всех других случаях в период холодного времени года температура внутренних поверхностей $t_{во}$ в отапливаемых помещениях всегда ниже температуры помещения $t_в$, потому что сопротивление тепловосприятию $1/\alpha_в$ действует как дополнительный слой теплоизоляции между внутренним воздухом и внутренней поверхностью и тем самым приводит к снижению температуры непосредственно перед внутренней поверхностью.

[1] В отечественной литературе лучистая составляющая принимается равной 50%. (*Прим. науч. ред.*)

Если равенство температур $t_{в_0} = t_в$ невозможно, следует из упомянутых выше соображений стремиться к меньшей разнице между температурой воздуха помещения $t_в$ и температурой внутренних поверхностей.

Зная температуру наружного воздуха $t_н$, температуру воздуха внутри помещения $t_в$, сопротивления теплоотдаче $1/\alpha_н$, тепловосприятию $1/\alpha_в$ и сопротивление теплопроницанию или термическое сопротивление ограждения $1/\Lambda$, температуру внутренней поверхности $t_{в_0}$ можно рассчитать по формуле

$$t_{в_0} = t_в - \frac{1/\alpha_в\,(t_в - t_н)}{1/\alpha_н + 1/\Lambda + 1/\alpha_в}. \qquad (8)$$

Разность температур $t_в - t_{в_0}$ определяется по формуле

$$t_в - t_{в_0} = \frac{1/\alpha_в\,(t_в - t_н)}{1/\alpha_н + 1/\Lambda + 1/\alpha_в}. \qquad (9)$$

При известных внутренней температуре $t_в$ и температуре наружного воздуха $t_н$ разность температур $t_в - t_{в_0}$ в значительной степени зависит от термического сопротивления конструкции $1/\Lambda$. Формулы (8) и (9) могут быть выведены из рис. 11.

Все названные в разделе «Требования и оценки» обязательные или рассматриваемые в качестве рекомендаций теплотехнические требования представляют собой компромисс между экономией стоимости отопления и стоимостью строительства.

УКАЗАНИЯ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ

ТРЕБОВАНИЯ И ОЦЕНКА

1. Теплозащита отдельной конструкции (минимальная). Основой для требований является DIN 4108 [321] с дополнениями к ним (листок Министерства земли Северный Рейн — Вестфалия [322]). По DIN 4108, для наружных конструкций определено, в каком случае может быть допущено сокращение термического сопротивления $1/\Lambda$. Следует подчеркнуть, что при собственной массе 1 м^2 конструкции $M < 300$ кг остаются повышенными требования к $1/\Lambda_{треб}$. Кроме того, минимальной теплозащиты требуют конструктивно условные тепловые мостики (стойки, балки, круглые анкеры и т. д.). Требования из упомянутых выше норм сведены в табл. 2.

2. Теплозащита внешней оболочки здания (повышенная). Излагаемые далее требования почерпнуты из Постановления об энергетически экономичной теплозащите зданий (Постановления по теплозащите) от 11 августа 1977 г. [382]. Его положения нацелены на то, чтобы определенным образом ограничить коэффициенты теплопередачи $k_{ср}$ и $k_{ср,\ ст+ок}$.

Содержание постановлений о теплозащите относится ко всему надземному строительству, причем излагается оно по-разному для

ТАБЛИЦА 2. МИНИМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТЫ ДЛЯ ОТДЕЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Конструкция	$1/\lambda_{треб}$, м^2·°С/Вт		Примечания
	РТЗ I/II	РТЗ III	
1. Наружные стены, масса 1 м^2, кг: 20 50 100 150 200 ≥300	 1,59 1,2 0,82 0,56 0,52 0,47	 2,24 1,72 1,12 0,77 0,65 0,56	В любом месте
2. Межквартирные стены и стены между разными рабочими помещениями	0,26	0,26	В зданиях без центрального отопления в любом месте
	0,07	0,07	В зданиях с центральным отоплением в любом месте
3. Стены лестничных клеток	0,26	0,26	В любом месте
4. Междуэтажные перекрытия и перекрытия между разными рабочими помещениями	0,34	0,34	В зданиях без центрального отопления в любом месте
	0,17	0,17	В зданиях с центральным отоплением в любом месте
5. Пол общей комнаты без подвала (граничит с грунтом)	0,86	0,86	В любом месте; принимаются во внимание только слои, расположенные выше гидроизоляции
6. Перекрытия под незастроенным чердаком, масса 1 м^2, кг: 20 50 100 ≥150	 1,59 1,2 0,86 0,86	 2,24 1,72 1,12 0,86	В среднем
	0,43	0,43	В неблагоприятных местах (тепловые мостики)

Конструкция	$1/\lambda_{треб}$, м²·°С/Вт		Примечания
	РТЗ I/II	РТЗ III	
7. Подвальные перекрытия	0,86	0,86	В среднем
	0,43	0,43	В неблагоприятных местах (тепловые мостики)
8. Перекрытия, которые отделяют помещения (для пребывания людей) снизу от наружного воздуха	1,72	1,72	В среднем
	1,29	1,29	В неблагоприятных местах (тепловые мостики)
9. Перекрытия, которые отделяют помещения (для пребывания людей) сверху от наружного воздуха, масса 1 м², кг:			
20	1,59	2,24	В среднем
50	1,29	1,72	
≥100	1,29	1,29	
	0,77	0,77	В неблагоприятных местах (тепловые мостики)

Область применения. Наружные конструкции всех помещений, предназначенных для длительного пребывания людей.

Данные таблицы взяты из листка Министерства земли СРВ [322]. Там же находятся дальнейшие указания к этой таблице. Географическое положение районов по теплозащите может быть определено по DIN4108, 1969 г. [321].

Примечание. РТЗ — район по теплозащите; здесь и далее: СРВ — земля Северный Рейн—Вестфалия. (*Прим. перев.*)

зданий с нормальными внутренними температурами, с низкими внутренними температурами, спортивных и зрелищных сооружений. В дальнейшем будут рассматриваться только здания с нормальными внутренними температурами. К ним принадлежат жилые, конторские и административные здания, школы, библиотеки, больницы, общежития всех видов, гостиницы, универмаги и торговые помещения, а также другие здания, внутренняя температура которых составляет не менее 19° С.

При проектировании здания перед расчетом коэффициентов теплопередачи следует обратить внимание на следующие требования.

1. Наружные окна или балконные двери следует выполнять с изолирующим или двойным остеклением. $K_{ок}$ должно быть не более 3,5 Вт/ (м² · °С) (см. табл. 1). В Постановлении по теплоза-

щите приведены максимальные значения проницаемости швов. Для приведенных в табл. 1 видов окон в расчет следует включать названные там значения коэффициентов $k_{ок}$. Для других видов окон значения $k_{ок}$ должны быть получены опытным путем (проведением испытаний).

2. Радиаторные ниши в наружных стенах по значению $k_{ст}$ не должны быть теплотехнически ослабленным сечением.

3. При расчете термического сопротивления полов или наружных стен можно принимать во внимание лишь слои, расположенные выше гидроизоляции или с ее внутренней стороны.

Требуемое ограничение теплопотерь (соблюдение значений $k_{ср\ макс}$ или $k_{ср,\ ст+ок\ макс}$) может, как гласит постановление, быть обосновано в двух различных вариантах.

Ограничение теплопотерь (*первая альтернатива*). Средний коэффициент теплопередачи $k_{ср}$ всего фасада определяется по формуле (6). Дополнительно поэтажно по формуле (7) рассчитывается $k_{ср,\ ст+ок}$. Полученные таким образом значения не могут превышать приведенных в табл. 3 максимальных значений, причем $k_{ср\ макс}$ ставится в зависимость от формы поверхностей здания (отношения $F_{общ}/V$).

ТАБЛИЦА 3. МАКСИМАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ $k_{ср}$ И $k_{ср,\ ст+ок}$ [382]

F/V, м²/м³	$k_{ср\ макс}$*, Вт/(м²·°С)	$k_{ср,\ ст+ок}$, Вт/(м²·°С)
⩽0,24	1,4	1,85: поэтажно, без учета формы поверхности зданий
0,3	1,24	
0,4	1,09	
0,5	0,99	
0,6	0,93	
0,7	0,88	
0,8	0,85	
0,9	0,82	
1	0,8	
1,1	0,78	
⩾1,2	0,77	

* Промежуточные значения могут быть вычислены следующим образом: $k_{ср\ макс}=0{,}61+0{,}19:(F/V)$ [Вт/(м²·°С)].

Для сблокированных одно с другим зданий потерями тепла через разделяющие здания стены можно пренебречь, поскольку значения k и площади разделяющих стен не входят в формулы (6) и (7), а также в расчет F/V. Если стены соседних зданий не изолированы, то их теплозащиту следует принимать минимальной по табл. 2, однако, не учитывая этого при расчете $k_{ср}$ и $k_{ср,\ ст+ок}$.

Ограничение теплопотерь (*вторая альтернатива*). Поэтажные значения $k_{ср,\ ст+ок}$, приведенные в табл. 4, превышать нельзя. Форму поверхности зданий вводят в расчет, когда на отдельный план этажа мысленно проецируется квадрат с длиной стороны 15 м, и $k_{ср,\ ст+ок}$ принимается в зависимости от того, перекрывается ли частично или даже полностью этот план квадратом. Далее для определенной конструкции принимается максимальное значение коэффициента k или минимальное значение сопротивления теплопередаче (ср. с табл. 2).

ТАБЛИЦА 4. $k_{ср\ ст+ок\ макс}$; $k_{макс}$; $1/\Lambda_{треб}$

Конструкция	$k_{ср,\ ст+ок}$, Вт/(м²·°С)	$1/\Lambda_{треб}$ м²·°С/Вт
Здания, план которых вписывается в квадрат со стороной длиной 15 м	$k_{ср,\ ст+ок} \leqslant 1,45$; каждый этаж	—
Здания, план которых частично вписывается в квадрат со стороной длиной 15 м	$k_{ср,\ ст+ок} \leqslant 1,55$; каждый этаж	—
Здания, план которых вписывается в квадрат со стороной длиной 15 м	$k_{ср,\ ст+ок} \leqslant 1,75$	—
Кровельные покрытия (и под незастроенными чердаками)	$k_{кр} \leqslant 0,45$	$\frac{1}{\Lambda} \geqslant 2,06$
Перекрытия, которые снизу соприкасаются с наружным воздухом	$k_{п.\ н.\ в} \leqslant 0,45$	$\frac{1}{\Lambda} \geqslant 2,01$
Стены и перекрытия граничащие с неотапливаемыми помещениями	$k_{н.\ п} \leqslant 0,8$	$\frac{1}{\Lambda} \geqslant 1,01$
Подвальные перекрытия над неотапливаемыми подвалами	$k_{под} \leqslant 0,8$	$\frac{1}{\Lambda} \geqslant 0,96$
Стены и перекрытия, соприкасающиеся с грунтом	$k_{гр} \leqslant 0,9$	$\frac{1}{\Lambda} \geqslant 0,99$

Примечание. Значения $1/\Lambda_{треб}$ были рассчитаны на основе сопротивлений теплопередаче (см. табл. 2 приложения) [382].

При расположенных рядом одно с другим зданиях утеплением разделяющих стен в принципе пренебрегают (как и в первой альтернативе). Если соседние строения не утеплены, тепловозащиту разделяющих стен следует предусматривать также минимальной, как для наружных стен по табл. 2. Используя вторую альтернативу, следует обратить внимание на то, что в данном случае Постановление о теплозащите предусматривает большое количество особых положений, которые должны учитываться при строительстве зданий с разделяющими стенами с различными (по высоте) планами этажей, кровельных перекрытий с повышенной изоляцией и полов в помещениях, граничащих снизу с наружным воздухом, а также зданий с большими по площади основаниями. Более подробно эти вопросы рассмотрены в Постановлении [382].

3. Обеспечение оптимальной температуры внутренней поверхности (полная теплозащита). Требования о возможно более высокой температуре внутренней поверхности $t_{в_0}$ или минимальной разности температур между внутренней поверхностью и воздухом поме-

щения оговорены в специальной литературе [8, 9, 15]. Эйхлер [8] указывает, что температура поверхности не должна быть более чем на 3° С ниже температуры воздуха. Это значение по сравнению с другими предложениями рассматривается как минимальное требование. Таким образом, $t_{\text{в}_0\,\text{треб}} = t_{\text{в}} - 3$.

Если известно $t_{\text{в}_0\,\text{треб}}$, то из уравнения (7) путем преобразования можно вычислить термическое сопротивление $1/\Lambda_{\text{треб}}$ наружных конструкций (м² · °С/Вт):

$$\frac{1}{\Lambda_{\text{треб}}} = \frac{t_{\text{в}_0\,\text{треб}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{в}_0\,\text{треб}}}\,\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} - \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}. \tag{10}$$

ТАБЛИЦА 5. ТЕМПЕРАТУРА НАРУЖНОГО $t_{\text{н}}$ И ВНУТРЕННЕГО $t_{\text{в}}$ ВОЗДУХА

Температура воздуха:	Район строительства по теплозащите:
$t_{\text{н}} = -15$°C	I/II
$t_{\text{н}} = -20$°C	III
$t_{\text{в}} = +20$°C	Всегда в жилых помещениях

Область применения. Температуры $t_{\text{н}}$ — температуры наиболее неблагоприятного зимнего дня — используются при проверке полной теплозащиты; температура $t_{\text{в}} = +20$° С — только для жилых помещений. При других условиях внутреннего микроклимата значение $t_{\text{в}}$ следует принимать по табл. 3 приложения.

ТАБЛИЦА 6. МИНИМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТЫ НАРУЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛНОЙ ТЕПЛОЗАЩИТЫ

$1/\Lambda_{\text{треб}}$	Район строительства по теплозащите
1,24 м²·° С/Вт	I/II
1,44 м²·° С/Вт	III

Область применения. Все наружные конструкции жилых помещений с температурой внутреннего воздуха $t_{\text{в}} = 20$° С. При иных внутренних температурах (см. табл. 3 приложения) $1/\Lambda_{\text{треб}}$ следует рассчитывать по формуле (10).

Наружные и внутренние температуры для района по теплозащите (РТЗ) устанавливаются в зависимости от области ее применения (табл. 5). При $t_{\text{в}} = 20$° С и $t_{\text{в}_0} = 17$° С) значения требуемого термического сопротивления $1/\Lambda_{\text{треб}}$ принимают по табл. 6.

В заключение отметим, что требование о необходимости высокой температуры внутренней поверхности представляет интерес не только своим физиологическим аспектом. Незначительная разница между внутренней температурой $t_{\text{в}}$ и температурой внутренней поверхности $t_{\text{в}_0}$ благоприятно воздействует с точки зрения предотвращения выпадения конденсата на внутренней поверхности. Для этого особое внимание должно быть обращено на величину требуемой минимальной теплозащиты, определяемой по рис. 31.

ПРИМЕРЫ

ПРОВЕРКА СОБЛЮДЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ КРИТЕРИЕВ ТЕПЛОЗАЩИТЫ

Задание. Жилое здание расположено во второй климатической зоне по теплозащите; размеры здания приведены на рис. 6.

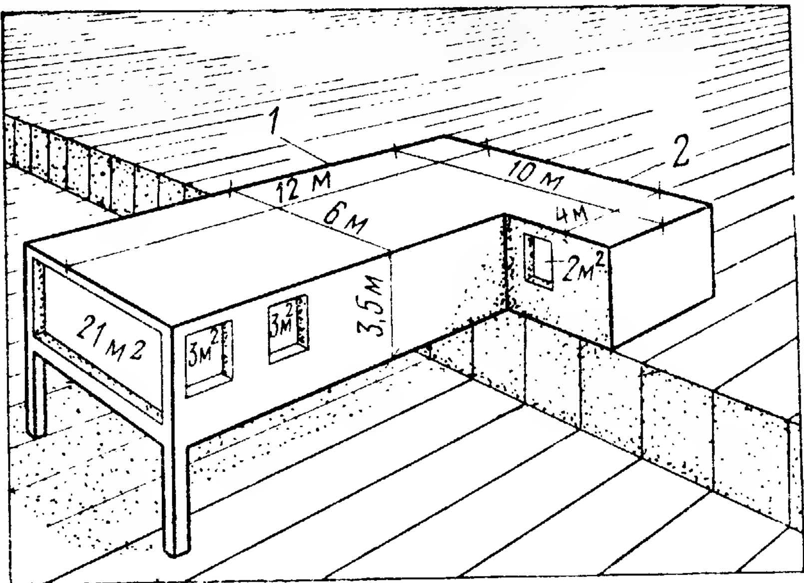


Рис. 6. Исходная ситуация для последующих расчетов

1 — четыре окна площадью по 3 м²; *2* — три окна площадью по 2 м² и одна дверь площадью 2,8 м²

Конструкция стены (снаружи — внутрь) состоит из следующих слоев: бетон марки 250 (d = 6 см), пенополиуретан (γ=25 кг/м³, d=3 см), бетон марки 250 (d = 15 см).

Конструкция покрытия (снаружи—внутрь) состоит из следующих слоев: гравийная засыпка (d = 5 см) по трем слоям рулонного кровельного материала на основе стеклоткани, уложенным на битуме (d = 1 см); один слой перфорирированной стеклоткани на битуме (верхний выравнивающий слой); экструдированный пенополистирол (d = 5 см); один слой кровельного картона М500 в качестве пароизоляции; один слой перфорированной стеклоткани на битуме (нижний выравнивающий слой); железобетонная плита покрытия из бетона марки 250 толщиной 20 см.

Последовательность слоев остальных конструкций не приведена. Для дальнейшего расчета следует исходить из того, что сопротивления теплопередаче $1/\Lambda$ приравнены к соответствующим минимальным сопротивлениям теплопередаче по DIN4108 (см. табл. 2). Расчет должен быть проведен для проверки минимальной и повышенной теплозащиты. В примере показана также проверка соблюдения полной теплозащиты.

А. Минимальная и повышенная теплозащита

Конструкции	λ, Вт/(м²×°С)	d/λ, м²·°С/Вт	Примечание
1. $1/\Lambda_{факт}$ и $k_{факт}$ всех конструкций: площади отдельных элементов			
Наружная стена			
Последовательность слоев:			
бетон марки 250 (наружная оболочка), d=7 см	2,03	0,03	λ—см. табл. 1 приложения
пенополиуретан (внутренняя теплоизоляция), d=3 см	0,04	0,75	
бетон марки 250 (внутренняя оболочка), d=15 см	2,03	0,07	$1/\Lambda$—см. комментарий; $1/\alpha$—см. табл. 2 приложения
		$1/\Lambda = 0{,}85$	
$k_{ст} = 1 : (1/\alpha_н + 1/\Lambda + 1/\alpha_в) = 1 : (0{,}04+0{,}85+0{,}12)$ $k_{ст}$ = 0,99 Вт/(м²·°С), $F_{ст}$ = 104,2 м²			$F_{ст}$—см. рис. 6

Конструкции	λ, Вт/(м²×°С)	d/λ, м²·°С/Вт	Примечание
Плита покрытия			
Последовательность слоев:			
три слоя кровельной стеклоткани на битумной основе, $d=1$ см		—[1]	[1] —см. комментарий, п. А5
перфорированная кровельная стеклоткань на битумной основе		—[1]	
пенополистирол экструдированный, $d=5$ см	0,04	1,25	
один слой кровельного картона марки 500, $d=0{,}3$ см		—[1]	λ—см. табл. 1 приложения
перфорированная кровельная стеклоткань на битумной основе	2,03	—[1]	
несущая часть перекрытия, бетон марки 250, $d=20$ см		0,1	
$k_{кр}=1:(1/\alpha_н+1/\Lambda+1/\alpha_в)=$ $=1:(0{,}04+1{,}35+0{,}12)$		$1/\Lambda=1{,}35$	$1/\Lambda$—см. комментарий, $1/\alpha$—см. табл. 2 приложения
$k_{кр}=0{,}66$ Вт/(м²·°С), $F_{кр}=88$ м²			$F_{кр}$—см. рис. 6
Окна			
деревянные, двойное остекление, $d_a=6$ см $k_{ок}=2{,}3$ Вт/(м²·С), $F_{ок}=49{,}8$ м²			$k_{ок}$—см. табл. 1 $F_{ок}$—см. рис. 6
Площадь основания[2]		$1/\Lambda=0{,}86$	$1/\Lambda$—см. табл. 2 [2] Комментарий, п. А5
$k_{осн}=1:(1/\Lambda+1/\alpha_в)=1:$ $:(0{,}86+0{,}17)$, $k_{осн}=0{,}97$ Вт/(м²·°С), $F_{осн}=40$ м²			$F_{осн}$—см. рис. 6
Площадь контакта основания с наружным воздухом[3]		$1/\Lambda=1{,}72$	$1/\Lambda$—см. табл. 2 [3] Комментарий, п. А5
$k_{ов}=1:(1/\alpha_н+1/\Lambda+$ $+1/\alpha_в)=1:(0{,}04+1{,}72+$ $+0{,}17)$, $k_{ов}=0{,}52$ Вт/(м²·°С), $F_{ов}=48$ м²			$F_{пнв}$—см. рис. 6
2. Отношение F/V $F_{общ}=330$ м², $V=308$ м², $F/V=1{,}07$ м²/м³			V—см. рис. 6

Конструкции	λ, Вт/(м²·°С)	d/λ, м²·°С/Вт	Примечание
3. **Фактические значения теплопередачи** $k_{ср}$ **и** $k_{ср,\,ст+ок}$ $k_{ср}=(k_{ст}F_{ст}+k_{ок}F_{ок}+$ $+0{,}8\,k_{кр}F_{кр}+0{,}5\,k_{осн}F_{осн}+$ $+k_{ов}F_{ов}):F_{общ}=(0{,}99\times$ $\times 104{,}2+2{,}3\cdot 49{,}8+0{,}8\cdot 0{,}66\times$ $\times 88+0{,}5\cdot 0{,}97\cdot 40+0{,}52\times$ $\times 48):330$ $k_{ср}=0{,}93$ Вт/(м²·°С) $k_{ср,\,ст+ок}=(k_{ст}F_{ст}+k_{ок}F_{ок}):$ $:(F_{ст}+F_{ок})=(0{,}99\cdot 104{,}2+2{,}3\times$ $\times 49{,}8):(104{,}2+49{,}8)=1{,}41$ Вт/(м²·°С)			Формулы (6), (7)

4. **Допустимые коэффициенты теплопередачи** $k_{ср_{макс}}$ и $k_{ср,ст+ок_{макс}}$ — $F/V=1{,}07$ м²/м³, отсюда следует $k_{ср_{макс}}=0{,}79$ Вт/(м²·°С); $K_{ср,ст+ок_{макс}}=$ $=1{,}85$ Вт/(м²·°С). (См. табл. 3).

5. **Комментарий:**

к 1): фольга, выравнивающие слои и гравийная посыпка не обладают теплоизолирующей способностью (см. табл. 2 приложения);

к 2): $1/\alpha_н$ в расчет не принимается, так как конструкция граничит непосредственно с основанием. Передача тепла идет сверху вниз, поэтому $1/\alpha_в=$ $=0{,}17$ м²·°С/Вт (см. табл. 2 приложения);

к 3): передача тепла идет сверху вниз, поэтому $1/\alpha_в=0{,}17$ м²·°С/Вт.

Требования минимальной теплозащиты для конструкции наружной стены и крыши выполняются: обе конструкции имеют значительную собственную массу, площади поверхности (железобетон!). Требуемые минимальные сопротивления теплопередаче (стена: 0,47 м²·°С/Вт; крыша: 1,29 м²·°С/Вт) обеспечены (см. табл. 2).

Требования повышенной теплозащиты не выполняются, хотя значение $k_{ср,ст+ок}=1{,}41$ Вт/(м²·°С) достаточно низкое ($k_{ср,ст+ок_{макс}}=1{,}85$), но значение $k_{ср}$, т. е. теплопотери всей наружной оболочки, слишком велико. Очевидно, основания, соприкасающиеся с грунтом и наружным воздухом, а также плита покрытия плохо изолированы (см. табл. 3).

Если для проверки повышенной теплозащиты использовать вторую расчетную альтернативу, получим следующий результат. Так как план здания полностью вписывается в квадрат с длиной стороны 15 м, получаем $k_{ср,ст+ок_{макс}}$, равное 1,45 Вт/(м²·°С). Это значение не превышается [$k_{ср,ст+ок}=1{,}41$ Вт/ /(м²·°С)]. Фасад утеплен достаточно. Иначе обстоит дело с остальными конструкциями. Если сравнить фактические значения $k_{кр}$, $k_{осн}$ и $k_{пнв}$ с допустимыми значениями коэффициентов теплопередачи, приводимыми в табл. 4, то очевидно, что конструкции покрытия и оснований, соприкасающихся с грунтом и наружным воздухом, имеют недостаточную теплозащиту. Значения k этих конструкций ниже значений коэффициента, приведенных в табл. 4. Для расчета $k_{ср}$ по первой альтернативе принимается

$$k_{ср}=0{,}88\ \text{Вт/(м}^2\cdot{}^\circ\text{С)}.$$

Это значение исходя из требований первой альтернативы все же велико, но так как проектировщик свободен в выборе способов проверки повышенной теплозащиты, достаточно улучшить теплозащиту оснований и покрытий исходя из данных табл. 4.

Если сравнить требования относительно сопротивления теплопередаче, которые исходят из расчета конденсации влаги на поверхности, в углах и особенно из сопротивления теплопередаче, необходимого для обеспечения полной теплозащиты, то становится ясен наиболее рациональный способ повышения теплозащиты стены. Сопротивление теплопередаче стены следует увеличить на 1,24 м²·° С/Вт ($k_{ст}$ = 0,71 Вт/(м²·° С). По табл. 4 $k_{ср}$ дожно составлять 0,45, $k_{осн}$ — 0,9 и $k_{пнв}$ — 0,45 Вт/(м²·° С). Если теперь $k_{ср}$ рассчитать по первой альтернативе, получим

$$k_{ср} = 0{,}79 \text{ Вт/(м}^2\cdot{}^\circ\text{C)},$$

т. е. требования первой альтернативы выполняются.

Известна строгая формулировка требований Постановления по теплозащите в сравнении с указаниями о минимальной теплозащите. Сопротивления теплопередаче, обеспечивающие минимальную теплозащиту, могут применяться в некоторых областях не более, чем в качестве проектных показателей. Результаты приведенных выше расчетов показывают, что при определении размеров теплозащиты следует принимать во внимание требования табл. 4 и 6.

Б. Полная теплозащита наружной стены

1. $1/\Lambda_{факт}$

Значение $1/\Lambda_{факт}$ принимаем по п. А1 примера:

$1/\lambda = 0{,}85$ м²·°С/Вт

2. $1/\Lambda_{треб}$

$$1/\Lambda_{треб} = \frac{t_{в\,о\,факт} - t_н}{(t_в - t_{во, треб})}\,\frac{1}{\alpha_в} - \frac{1}{\alpha_н}$$ — Формула (10)

При нахождении объекта во II районе по теплозащите: $t_н = -15$ °С — См. табл. 5

Для жилого помещения: $t_в = +20$ °С — См. с. 22

$t_{в_о\,треб} = t_в - 3$ °С; $t_{в_о\,треб} = +17$ °С

$$1/\Lambda_{треб} = \frac{17+15}{20-17}\ 0{,}12 - 0{,}14$$

$1/\Lambda_{треб} = 1{,}24$ м²·°С/Вт

3. **Комментарий:**

Конструкция стены не удовлетворяет критерию полной теплозащиты ($t_{в_0} \geqslant t_в - 3°$). Это выражается в том, что необходимое для выполнения этого условия сопротивление теплопередаче $1/\Lambda_{треб}$ не достигается. Таким же образом может быть проведен расчет для конструкции крыши.

В п. А1 настоящего примера сопротивление теплопередаче крыши $1/\Lambda_{треб}$ равно 1,35, т. е. конструкция покрытия удовлетворяет условию полной теплозащиты, так как значение $1/\Lambda_{треб}$, равное 1,24 м²·ч·° С/Вт, превышается.

В примере расчета конструкции стены выбран именно такой путь расчета сопротивления теплопередаче, чтобы он был пригоден также для всех случаев, при которых климатические условия отличаются от значений, приводимых в табл. 5.

В предыдущем случае (жилое здание расположено во II зоне по теплозащите) имелось в виду, что необходимые сопротивления теплопередаче принимаются по табл. 6.

ДИФФУЗИЯ ВОДЯНОГО ПАРА

ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1. **Предотвращение вредного влияния выпадения большого количества конденсата в поперечном сечении конструкций.** При проектировании наружной конструкции слои должны быть расположены с уменьшением их пароизолирующей и увеличением теплоизолирующей способности в направлении изнутри наружу.

Это не всегда возможно и требует различных изысканий и исследований конструкций наружных стен и покрытий.

Повреждения наружных стен из-за образования конденсата в поперечном сечении редки. Определяемое примерным расчетом количество конденсата, выпадающего в зимнее время, и расчетное количество высыхающей летом влаги сопоставимы. Поэтому в сборном строительстве применяются оценочные критерии, исключающие образование большого количества конденсата.

Если то или иное условие не выполняется, следует дополнительно ввести с внутренней стороны стены пароизоляцию или изменить расположение слоев (снаружи — усиленную теплоизоляцию, изнутри — повышенную пароизоляцию) и вновь проверить количество выпадающей и высыхающей влаги.

Чаще возникают повреждения при однослойной невентилируемой теплой кровле из-за высокой паронепроницаемости оболочки покрытий. Здесь также следует рассчитывать и сопоставлять количество конденсирующейся влаги, которое выпадает в зимнее время, и количество влаги, высыхающей в летний период. Максимально допустимое количество конденсирующейся влаги составляет 10 г на 1 м^2.

Для двухслойного вентилируемого холодного покрытия нижнюю оболочку следует проектировать так, чтобы эквивалентная диффузионная плотность воздушной прослойки составляла не менее 10 м.

2. **Предотвращение образования конденсата на поверхности.** Следует исключать образование конденсата на всех внутренних поверхностях наружных конструкций, кроме плоскости остекления окон. В первом задании на проектирование (предотвращение образования конденсата на внутренней поверхности нормального поперечного сечения) можно исходить из того, что при соблюдении минимальной теплозащиты образование конденсата на поверхности предотвращается при относительной влажности воздуха примерно до 65%. При более высокой относительной влажности воздуха теплозащиту следует повышать.

Второе проектное задание, заключающееся в предотвращении образования конденсата на поверхности внутренних углов наружных конструкций, выполнить тяжелее, так как их теплоизолирующая способность должна быть почти вдвое больше, чем по плоскости стены. Это требование выполняется также путем соответствующего

повышения теплозащиты. Если это не достигается, следует рассчитать усиление теплозащиты с учетом максимальной относительной влажности воздуха и температуры на поверхности внутренних углов наружных конструкций.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Понятия и основные величины. *Закономерности водяного пара.* Водяной пар — вода в газообразном состоянии — составная часть воздушной смеси в атмосфере. Внутри помещения он образуется вследствие испарения с поверхности тела человека и в результате его бытовой деятельности.

В зависимости от конкретной ситуации в каждой единице объема воздуха находится всегда большее или меньшее количество водяного пара G/V (кг/м^3). Значение отношения G/V называют также абсолютной влажностью a (кг/м^3).

Если отношение количества водяных паров к объему велико, то соответственно высока концентрация молекул воды. Движение молекул создает давление на все твердые тела, которые оказываются на их пути. Это давление называют давлением водяного пара P (Н/м^2).

Водяной пар обладает при этом определенными особенностями, которые отличают его от идеального газа. Имеется определенная граница для максимально возможного содержания водяного пара в единице объема G/V; выше нее концентрация водяного пара не может быть больше увеличена. Если эта граница достигнута, говорят о насыщенном водяном паре. Давление, которое соответствует этому определенному содержанию водяного пара в единице объема, является давлением насыщения $P_н$ (H/м^2) водяного пара. До тех пор, пока эта максимально возможная концентрация водяного пара не достигнута, говорят о ненасыщенном водяном паре. Давление, которое соответствует этому количеству водяного пара в единице объема, находящемуся ниже границы насыщения, и является, как указано выше, давлением водяного пара.

Давление насыщения[1] $P_н$ зависит от температуры (см. табл. 4 приложения). Если температура среды, в которой находится водяной пар, повышается, то возрастает и даление насыщения, а следовательно, и максимально возможное количество водяного пара в единице объема. Если температура понижается, то уменьшается и максимально возможная концентрация водяного пара (рис. 7).

На эту температурную зависимость давления насыщения водяного пара не оказывают влияния другие газы, пары или твердые вещества, в которых находится водяной пар. Речь идет, таким образом, о специфическом свойстве водяного пара (закон Дальтона).

[1] Иначе упругость насыщенного пара. (*Прим. перев.*)

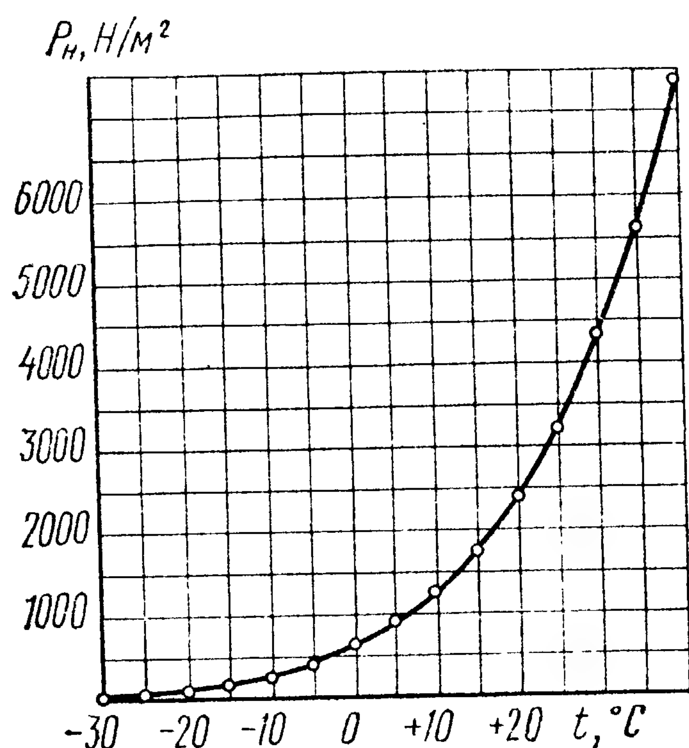


Рис. 7. Зависимость давления насыщения водяного пара $P_н$ от температуры t. Кривая функции $P_н = f(t)$ выше и ниже 0 имеет вид параболы. 0 °С — точка неустойчивости (перегиба)

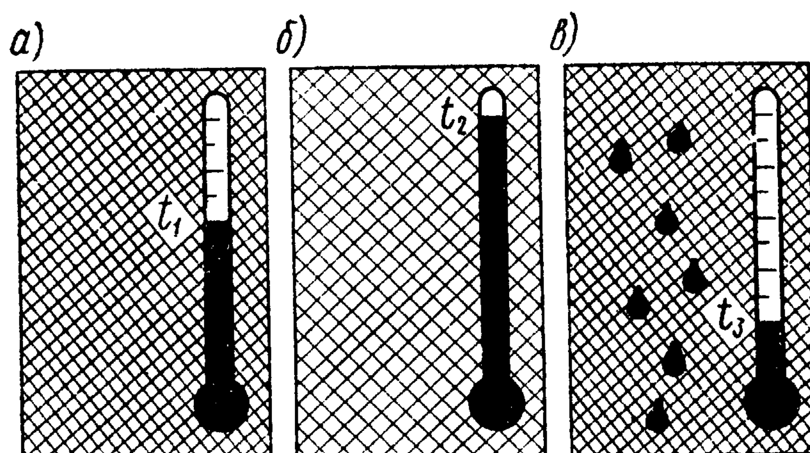


Рис. 8. Конденсация водяного пара. Сильно заштрихованное поле обозначает состояние насыщения или максимально возможную концентрацию водяных паров

О том, что влечет за собой эта температурная зависимость давления насыщения, говорят следующие соображения (рис. 8):

а) в определенной системе (например, наружном воздухе) при определенной температуре t_1 имеется столько водяных паров в единице объема G_1/V, сколько необходимо для достижения давления насыщения $P_{н_1}$;

б) если исходная температура t_1 повышается до более высокой t_2 и нет дальнейшего поступления водяных паров, то водяной пар не является насыщенным, хотя количество водяных паров в единице объема G_1/V остается постоянным и давление пара — прежним (соответствует давлению насыщения $P_2 = P_{н_1}$). Пар перешел в ненасыщенное состояние (концентрация водяных паров G_1/V могла бы повышаться дальше до тех пор, пока не было бы достигнуто большее, соответствующее более высокой температуре t_2 давление насыщения пара $P_{н_2}$);

с) при понижении температуры от t_1 до t_2 давление насыщения снизилось от $P_{н_1}$ до $P_{н_2}$. Соответственно уменьшилась максимально возможная концентрация водяных паров (от G_1/V до G_3/V.) Так как G_3 должна быть меньше G_1, при понижении температуры в единице объема образуется избыточное количество водяных паров, которые должны превратиться в воду. Такое вынужденное превращение в жидкость ненасыщенного или еще находящегося в газообразном состоянии насыщенного водяного пара называют конденсацией или образованием конденсата.

Образование конденсата в толще конструкции всегда может произойти там, где относительно теплый водяной пар или водяной пар из теплых слоев внезапно охлаждается. Типичным примером этого является образование капелек на внутренней стороне оконных стекол зимой; то же самое можно наблюдать на внутренней стороне плохо утепленного сечения конструкций. В этом случае говорят об

образовании конденсата на внутренней поверхности. Понижение температуры в сечении конструкции может само привести к образованию конденсата в ее толще.

Наряду со значениями наружной $t_н$ и внутренней $t_в$ температур климатические условия при расчетах диффузии паров дополняются ссылкой на относительные влажности О. В. (%) наружного или внутреннего воздуха. Относительная влажность показывает, сколько действительно может составлять давление пара P в процентах от давления насыщения пара $P_н$ при постоянной температуре t:

$$О.В. = \frac{P}{P_н} 100. \qquad (11)$$

По наружной температуре $t_н$ и относительной влажности наружного воздуха О. В.$_н$, а также внутренней температуре $t_в$ и относительной влажности внутреннего воздуха О. В$_в$. можно рассчитать соответственно фактические давления пара снаружи $P_{нар}$ (Н/м^2) и внутри $P_в$ (Н/м^2):

$$P_{нар} = \frac{О.В._н}{100} P_{н_{нар}}; \qquad (12)$$

$$P_в = \frac{О.В._в}{100} P_{н_в}. \qquad (13)$$

Диффузия пара через конструкцию. Молекулы водяного пара стремятся равномерно распределиться по всем направлениям, т. е. чтобы во всем помещении создалась равномерная концентрация водяных паров. Если однослойная однородная паропроницаемая конструкция находится в помещении с определенной концентрацией водяных паров (давление пара P), то молекулы водяного пара проникают в конструкцию и из него в помещение, так как материал имеет конечную влажность. Если концентрации водяных паров в помещении и в конструкции выравниваются, то молекулярный обмен уравновешивается и сумма влажностных движений равна нулю. Если концентрация водяных паров в конструкции меньше, то сумма движений влажности направлена внутрь конструкции, и так продолжается до установления равновесия.

Равновесие в дальнейшем нарушается, если на другой стороне конструкции находятся водяные пары меньшей концентрации. Тогда на расположенной там границе плоскостей устанавливается такой молекулярный обмен, что в среднем из конструкции в помещение поступает больше молекул воды, чем из помещения в конструкцию. Благодаря этому между обеими поверхностями конструкции устанавливается разность концентраций или разность давлений водяных паров ΔP (Н/м^2). Она возникает в конструкции как сумма всех движений молекулярного переноса влажности со стороны с большим давлением к стороне с меньшим давлением паров. Этот выравнивающий переход называют диффузией водяных паров.

Мерой величины переноса паров вследствие диффузии через слой конструкции служит плотность диффузионного потока

g [кг/ (м^2 · ч)], которая показывает, какое количество водяных паров G (кг) диффундирует через единицу площади конструкции F (м^2) за каждую единицу времени t (ч):

$$g = \frac{G}{tF}. \qquad (14)$$

Перенос водяных паров через слой конструкции, характеризуемый плотностью диффузии, тем больше, чем выше разность давлений[1] между поверхностями слоя.

Плотность диффузионного потока тем меньше, чем выше паронепроницаемость слоя конструкции. Мерой паронепроницаемости слоя конструкции является его толщина d (м). Чем слой толще, тем он менее проницаем. Кроме того, паронепроницаемость определяется структурой материала. Если сравнить при этом паронепроницаемость слоя воздуха толщиной 1 м с паронепроницаемостью слоя материала той же толщины, то получим коэффициент сопротивления диффузии[2] μ (безразмерный)

$$\mu = \frac{\text{паронепроницаемость материала}}{\text{паронепроницаемость воздуха}}. \qquad (15)$$

Значений толщины слоя d и коэффициента паропроницаемости μ достаточно для характеристики паронепроницаемости слоя материала определенной толщины. Если обе эти величины перемножить, получим диффузионно-эквивалентную толщину слоя воздуха μd (м). Она характеризует толщину слоя воздуха (м), которая обладает равной паронепроницаемостью со слоем материала толщиной d (м) и коэффициентом паропроницаемости μ.

Когда требуется, как, например, при количественных расчетах фактической паронепроницаемости слоя конструкции, рассчитывают сопротивление паропроницанию (м^2 · ч · Н/м^2) кг$^{-1}$:

$$\frac{1}{\Delta} = \mu d \frac{1}{\delta_в}, \qquad (16)$$

где $\delta_в$ — коэффициент паропроводности воздуха.

Величина $\delta_в$ в незначительной степени зависит от температуры и может с достаточной точностью рассматриваться как константа кг · (м^2 · ч · Н/м^2)$^{-1}$:

$$\delta_в = \frac{1}{1,6} 10^{-6}.$$

Сопротивление паропроницанию слоя конструкции составит при этом

$$1/\Delta_1 = \mu_1 \cdot d_1 \cdot 1,6 \cdot 10^6. \qquad (17)$$

[1] Или упругостей. (*Прим. перев.*)

[2] Коэффициент паропроницаемости. (*Прим. перев.*)

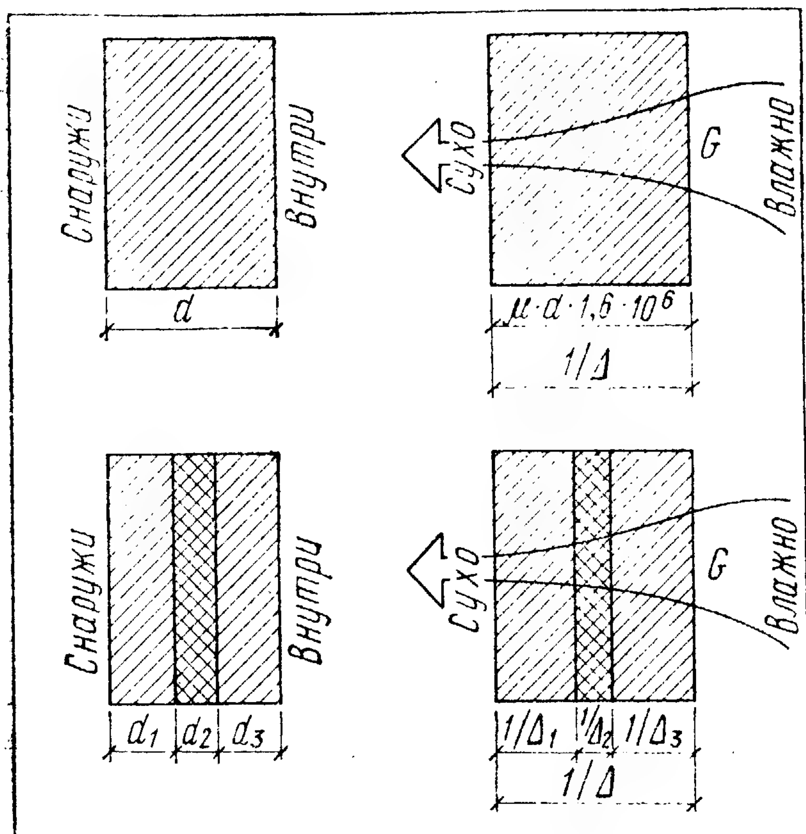


Рис. 9. Сопротивление паропроницанию $1/\Delta$. Сопротивление паропроницанию, или плотность конструкции при пропускании водяных паров, определяется коэффициентом $\mu \cdot d \cdot 1{,}6 \cdot 10^6$ (для однослойной конструкции) или суммой всех отдельных слоев $1/\Delta_n$ (для многослойной конструкции)

Сопротивление паропроницанию многослойной конструкции (рис. 9) с сопротивлениями паропроницанию слоев $1/\Delta_1$, $1/\Delta_2$, $1/\Delta_3$, ..., $1/\Delta_n$ составляет

$$1/\Delta = \Sigma\,(\mu_n\, d_n)\ 1{,}6 \cdot 10^6. \qquad (18)$$

По аналогии с коэффициентом теплопередачи λ (см. табл. 1 приложения), который при расчете теплопроводности характеризует специфические особенности материалов, при расчетах паропередачи эту роль играет коэффициент паропроницаемости μ (см. табл. 1 приложения).

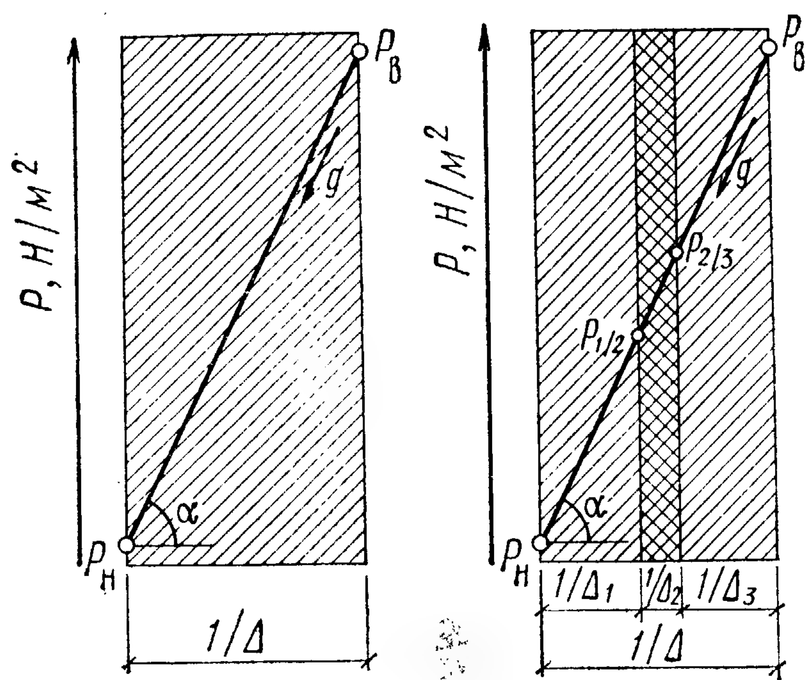
Данные о коэффициенте теплопроводности λ действительны для воздушно-сухого состояния соответствующего материала. При этом следует иметь в виду, что каждое вещество, за исключением абсолютно плотных материалов (стекло, металл), обладает в зависимости от относительной влажности окружающего его воздуха определенной собственной влажностью, так называемой гигроскопической равновесной влажностью.

Средняя равновесная влажность принимается за основу при назначении расчетного значения λ. Если из-за выпадения конденсата в материале повышается содержание влаги, то изменяется также коэффициент его теплопроводности λ.

Изменение λ при увеличении содержания влаги приведено в табл. 8. Аналогичной зависимостью коэффициента паропоницаемости от влажности можно в дальнейшем пренебречь.

2. **Давление пара и температура в поперечном сечении конструкции.** *Диаграмма $1/\Delta$ — P давления пара в поперечном сечении конструкции.* При определении сопротивления теплопередаче $1/k$ к термическому сопротивлению $1/\Lambda$ должны прибавляться сопротивления теплоперехода $1/\alpha_н$ и $1/\alpha_в$. Аналогично этому при паропроницании также существует такое сопротивление перехода $1/\beta$ [284], которое, однако, в сравнении с обычными для строительных конструкций значениями $1/\Delta$ так мало, что им можно пренебречь. Итак, речь идет — в противоположность теплопереходу — о том, что разность давлений пара ΔP воздействует непосредственно на поверхность конструкции.

Если разности давлений пара между обеими поверхностями конструкции постоянны и ни в одном месте поперечного сечения стены водяной пар не подводится и не отводится, то плотность диффузионного потока в каждом месте поперечного сечения — неизменная



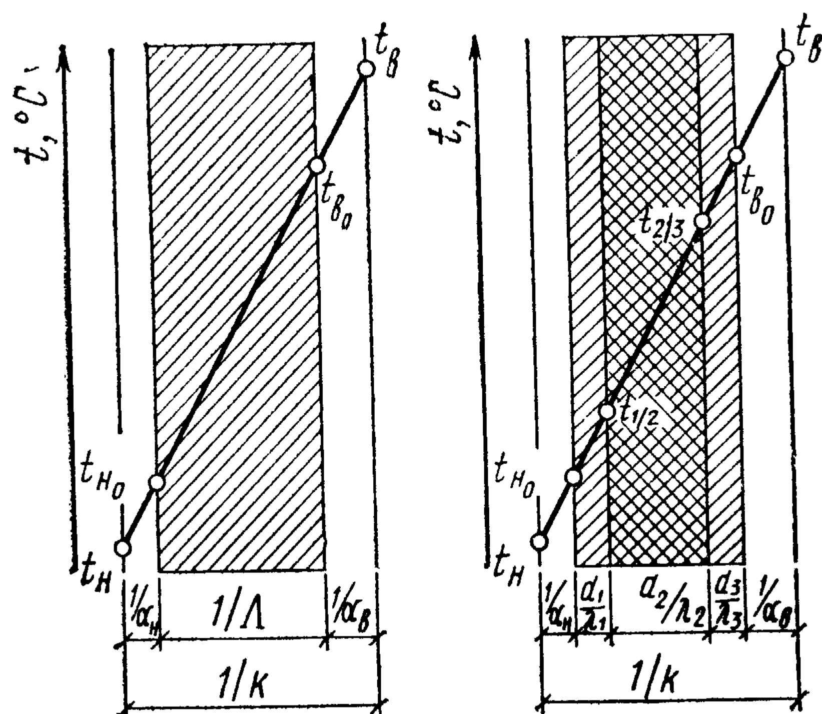


Рис. 10. Диаграмма 1/Δ—P. Показаны распределения давления пара при прохождении его через однослойную и многослойную кенструкции при беспрепятственном переносе водяных паров (без подвода воды или конденсации)

Рис. 11. Диаграмма 1/k—t. Распределение температур в одно- и многослойной конструкциях для нахождения температуры на границах слоев и на поверхностях ограждения в зимнее время

величина. (Описанное здесь стационарное состояние прежде всего положено в основу при последующем определении состояний давления пара в поперечном сечении стены.) Из этих основных положений вытекает графическое представление распределения давлений пара в виде диаграммы 1/Δ — P (рис. 10) [135, 88]. На оси x суммарно нанесены сопротивления паропроницанию 1/Δ отдельных слоев в их последовательности снаружи внутрь. На оси y нанесены давления пара P. Действующее снаружи давление пара $P_{нар}$ отложено на ограничительной линии между наружным воздухом и наружным слоем; давление пара $P_в$ действует внутри — на границе между внутренним слоем и внутренним воздухом.

Давления пара $P_{нар}$ и $P_в$ определяют с учетом данных об относительной влажности и температуре наружного и внутреннего воздуха. В результате получают распределение давления пара в поперечном сечении и сведения о переносимом через него количестве водяного пара, т. е. о плотности диффузионного потока g [кг/(м² · ч)].

Изменение давления пара в конструкции при неизменной плотности диффузионного потока представляется диаграммой 1/Δ — P в виде отрезка $\overline{P_{нар}P_в}$. Предпосылкой этого является непрерывный перенос пара без какого-либо подвода или отвода влаги в сечении конструкции. Плотность диффузионного потока, т. е. часовой влагоперенос через 1 м² поверхности конструкции, вычисляется как тангенс угла α прямой $\overline{P_{нар}P_в}$:

$$g = \operatorname{tg}\alpha = (P_в - P_{нар}) : \frac{1}{\Delta}. \qquad (19)$$

Диаграмма 1/k — t, температуры в поперечном сечении конструкции. Наряду с изложенными выше основными положениями для дальнейшего уяснения физических процессов, происходящих

при диффузии пара, необходимо еще раз, исходя из понятия «теплопередача», остановиться на теплотехнических процессах.

Разность температур Δt между внутренним и наружным воздухом с обеих сторон конструкции остается длительное время постоянной. Это так называемое стационарное состояние приводит к тому, что в конструкции устанавливается непрерывное падение температуры.

Плотность теплового потока q (Вт/м^2), т. е. проходящее в течение 1 ч через 1 м^2 поверхности конструкции количество тепла, остается при этих условиях также постоянным. Это происходит и в тех случаях, когда конструкция состоит из большого числа слоев различной теплоизолирующей способности.

Теплоизолирующая способность конструкции в построенном состоянии определяется сопротивлением теплопередаче $1/k$, которое складывается из термических сопротивлений отдельных слоев и сопротивлений теплопереходу. Отсюда — графическое представление о распределении температур в конструкции с помощью диаграммы $1/k$ — t (рис. 11).

На оси x суммарно наносятся термические сопротивления d/λ отдельных слоев (при многослойной конструкции) или термическое сопротивление $1/\Lambda$ (при однослойной конструкции), а также сопротивления теплопереходу $1/\alpha_н$ (м^2 · °С/Вт) и $1/\alpha_в$ в их последовательности снаружи внутрь. На оси y наносятся температуры t. Наружная температура $t_н$ обозначена на границе между наружным воздухом и сопротивлением теплоотдаче $1/\alpha_н$, внутренняя температура $t_в$ — на границе между сопротивлением тепловосприятию $1/\alpha_в$ и внутренним воздухом. Температуры $t_в$ и $t_н$ связаны между собой линейно. Полученная таким образом прямая дает возможность определить температуру в любой точке конструкции. Увеличение угла наклона температурной прямой соответствует повышению плотности q теплового потока и поэтому справедливо для неизменяемых стационарных условий.

Температуры на каждой границе слоя могут быть получены непосредственно из диаграммы: $t_{но}$ — температура на наружной поверхности; $t_1/_2$,..., $t_2/_3$ — температуры на границах слоев; $t_{во}$ — температура на внутренней поверхности.

Расчетное определение температур на границах слоев также легко осуществимо и может быть рекомендовано при применении расчетных способов определения диффузии пара.

Поскольку в данном примере расчетным путем следует определить температуры на границах слоев, предлагаются следующие формулы:

$$t_{1/2} = \frac{t_в - t_н}{1/\alpha_н + 1/\Lambda + 1/\alpha_в} = \frac{t_в - t_{1/2}}{1/\alpha_в + d_3/\lambda_3 + d_2/\lambda_2};$$

$$t_{1/2} = t_в - \frac{t_в - t_н}{1/\alpha_н + 1/\Lambda + 1/\alpha_в}(1/\alpha_в + d_3/\lambda_3 + d_2/\lambda_2); \qquad (20)$$

аналогично для $t_{2/3}$:

$$t_{2/3}=t_в-\frac{t_в-t_н}{\alpha_н+1/\Lambda+1/\alpha_в}(1/\alpha_в+d_3/\lambda_3); \quad (21)$$

аналогично для $t_{в_0}$

$$t_{в_0}=t_в=-\frac{t_в-t_н}{1/\alpha_н+1/\Lambda+1/\alpha_в}\frac{1}{\alpha_в}. \quad (22)$$

3. Образование конденсата в поперечном сечении конструкции. Наряду с диффузией пара при наличии разности температур между поверхностями конструкции возникает передача тепла через конструкцию. При этом давление насыщения паров, находящихся в поперечном сечении конструкции, определяется температурами в ее толще. Если в каком-либо месте конструкции давление насыщения пара $P_н$ оказывается ниже линии $\overline{P_в\,P_{нар}}$ (в диаграмме $1/\Delta$ — P), то в сечении выпадает конденсат. В этом случае давления пара в конструкции уже не располагаются по прямой, как на рис. 10; плотность диффузионного потока претерпевает в сечении конструкции изменения, по которым в конце концов может быть вычислено количество выпавшего конденсата. Далее рассматривается образование конденсата в одно-и многослойной конструкции.

3.1. Однослойная конструкция. *Давление насыщения пара.* Распределение температур в конструкции представлено на диаграмме $1/k$ — t. Зависимость давления насыщения пара от температуры (табл. 4 приложения) является нелинейной. Несмотря на линейное распределение температур, изображенная на диаграмме $1/\Delta$ — P кривая распределения давлений насыщенного пара имеет вид параболы (рис. 12).

Для более точного представления о виде этой кривой на диаграмме $1/\Delta$ — P рекомендуется в двух сечениях конструкции определить температуры и соответствующие им давления насыщения пара.

Текущее значение давления пара P ни в каком месте не может быть выше давления насыщения $P_н$. Если $P_{лин} > P_н$, кривая распределения текущих давлений пара должна лежать ниже кривой насыщающих давлений пара (рис. 13).

Тот факт, что $P_{лин} > P_н$, сигнализирует о выпадении конденсата. Необходимо установить количество выпадающего конденсата. Давления насыщения пара $P'_{нк}$ и $P''_{нк}$, при которых прямые текущих распределений давлений пара касаются параболической кривой распределения давлений насыщенного пара, а также сопротивления паропроницанию $1/\Delta'$ и $1/\Delta''$, могут быть определены графически.

Количество конденсата, выпадающего за 1 ч $g_к$ [кг/ (м^2 · ч)], получается как разность плотностей диффузионного потока в точках соприкосновения кривой упругостей водяного пара с кривой давлений насыщенного пара:

$$g_к=g''-g'=(P_в-P''_{нк}):1/\Delta''-(P'_{нк}-P_{нар}):1/\Delta'. \quad (23)$$

Примечательно, что в сечении однослойных конструкций образуется обширная область конденсации, в которой плотность диф-

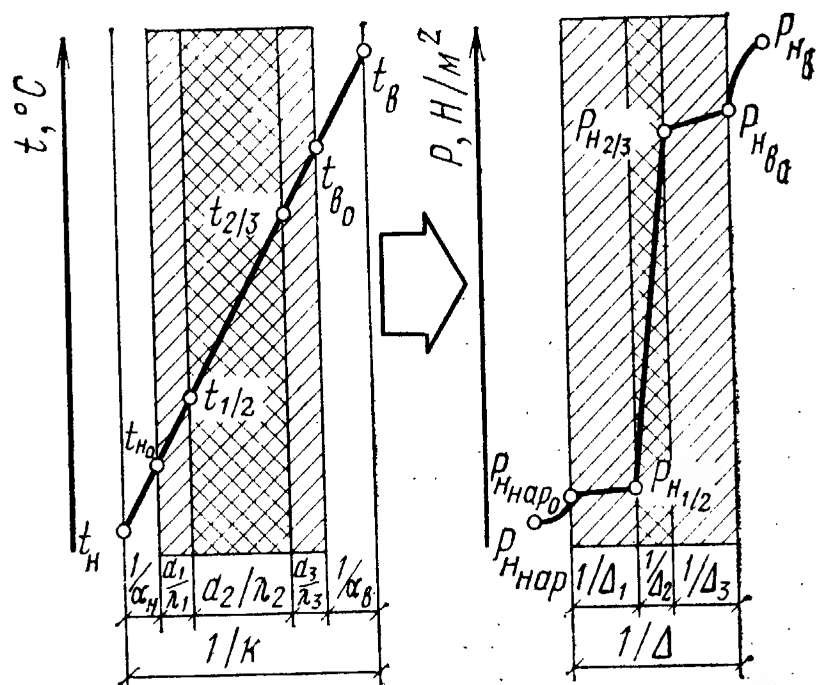


Рис. 12. Распределение температур и насыщающих давлений пара в однослойной конструкции в зимнее время. Представленные на диаграммах $1/k-t$ и $1/\Delta-P$ температуры и давления насыщения пара $P_н$ взаимосвязаны. Следует обратить внимание на нелинейную зависимость между t и $P_н$ в однослойной конструкции

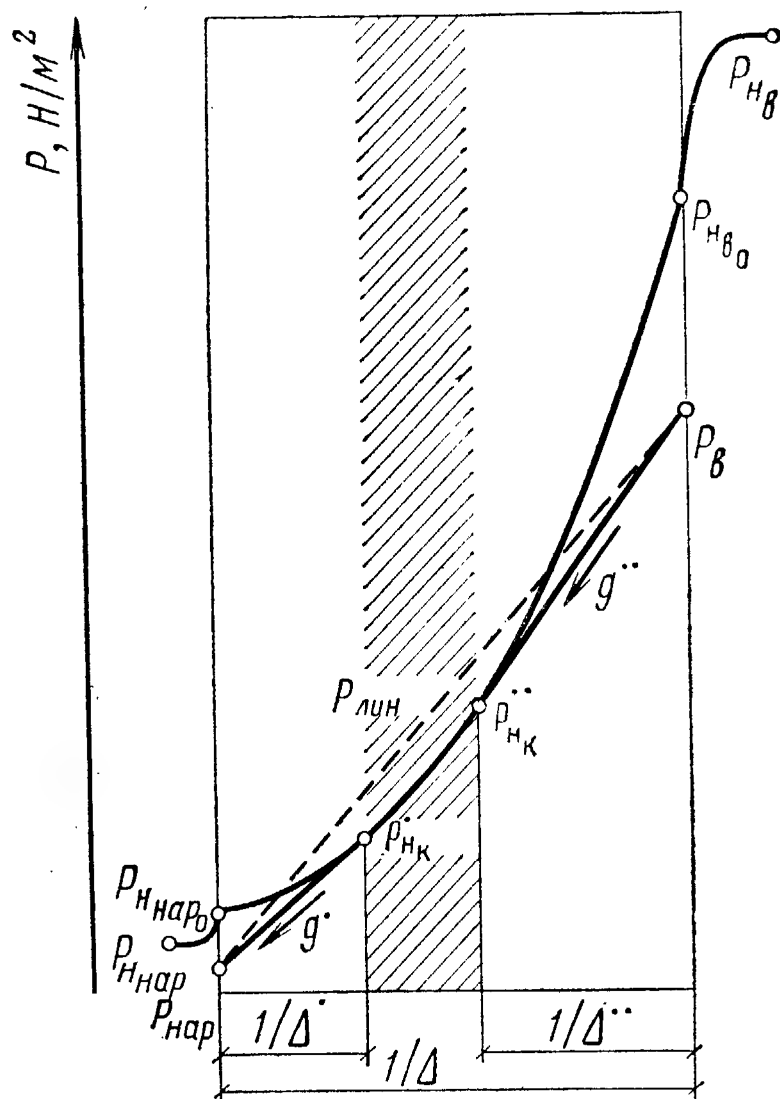


Рис. 13. Давление пара в однослойной конструкции в зимнее время. Линия давлений пара $P_в-P_н$ огибает снизу кривую давлений насыщенного пара. Разность плотностей диффузионного потока $g''-g'$ определяет количество конденсата $g_к$, выпадающего за 1 ч. В середине конструкции образуется зона переувлажнения (заштрихована)

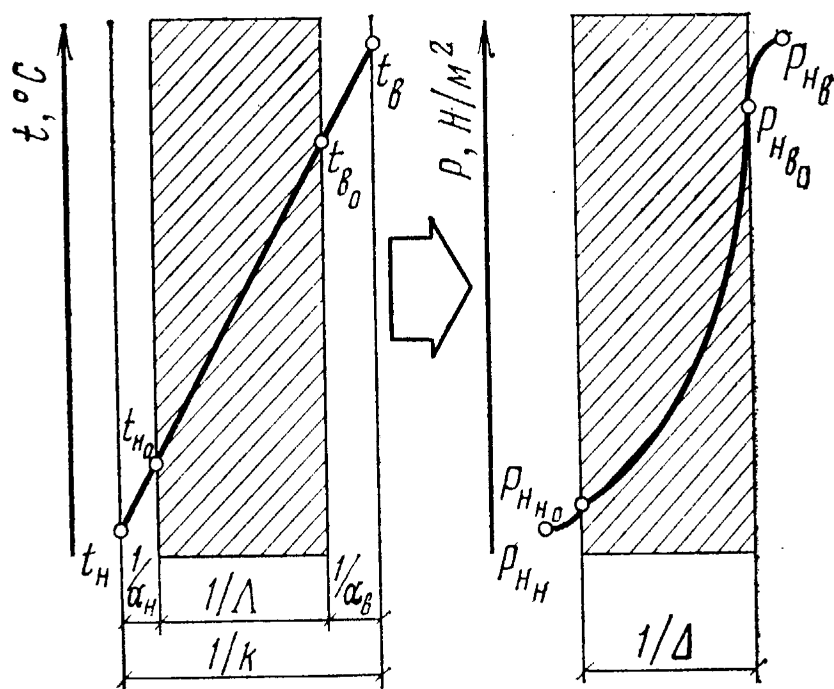


Рис. 14. Температуры и давления насыщенного пара в многослойной конструкции в зимнее время. Температуры на диаграмме $1/k-t$ на границах слоев и поверхностей связаны с приведенными на диаграмме $1/\Delta-P$ давлениями насыщенных паров $P_н$

фузионного потока постоянно уменьшается и также постоянно выпадает конденсат. Пока климатические условия не изменяются, количество выпадающего за 1 ч конденсата остается постоянным. При этом количество выпадающего в течение этого промежутка времени T (ч) конденсата $G_к$ (кг/м^2) составляет:

$$G_к = g_к T. \tag{24}$$

3.2. Многослойная конструкция *Давление насыщения пара.* Распределение температур в конструкции определяется диаграммой $1/k - t$. Таким образом получают температуры на границах слоев $t\,n/m$. Соответствующие им давления насыщения пара $P_{н\,n/m}$ на границах слоев нанесены на диаграмме $1/\Delta - P$ (рис. 14).

Как правило, при определении образования конденсата в многослойных конструкциях параболическую форму кривой распределения давлений насыщения пара между двумя границами слоев учитывать не следует. Давления насыщенных паров на границах

слоев могут быть в этом случае связаны между собой прямыми линиями.

Параболическая форма кривой распределения может иметь значение для слоев конструкций с большими термическими сопротивлениями d/λ и одновременно высокими сопротивлениями паропроницанию $1/\Delta$. Расределение давлений насыщенных паров в этом слое определяется, как в однослойных конструкциях.

Текущее значение давления пара P ни в каком месте не может быть выше давления насыщения пара $P_н$. Если $P_{лин} > P_н$, то линия связи текущих давлений пара должна располагаться ниже кривой распределения давлений насыщенных паров (рис. 15).

Из рис. 15 следует, что текущее значение давления пара на границе первого и второго слоев расплагается выше, чем давление насыщенного пара на той же границе $P_{н_{1/2}}$. Текущее значение давления пара на границе слоев 1/2 должно быть поэтому принято равным давлению насыщенного пара $P_{н_{1/2}} = P_{нк}$. Распределения давлений пара $\overline{P_в - P_{н_к}}$ и $\overline{P_{н_к} - P_{нар}}$ должны оставаться линейными, потому что ни в первый, ни во второй и третий слои вода не подводится и не выводится из них. Текущее давление принимается, как показано на рис. 15.

Количество выпадающего за 1 ч конденсата [кг/ (м^2 · ч)] определяется как разность плотностей диффузионного потока перед и за зоной конденсации, расположенной на границе слоев 1/2:

$$g_к = g'' - g' = (P_в - P_{н_к}) : 1/\Delta'' - (P_{н_к} - P_{нар}) : 1/\Delta'. \qquad (25)$$

Пока условия не изменяются, количество выпадающего за 1 ч конденсата также остается постоянным. При этом количество (кг) выпадающего за промежуток времени T (ч) конденсата $G_к$ составляет

$$G_к = g_к T. \qquad (26)$$

4. Высыхание выпавшего конденсата летом. Прогрев наружного воздуха повышает температуру в поперечном сечении конструкции, а также давление насыщения пара по толщине конструкции. Летом давление насыщенного пара на диаграмме $1/\Delta$ — P в любом сечении конструкции располагается выше линии, связывающей $P_в$ и $P_{нар}$.

Если в сечении конструкции зимой образовался конденсат, то летом из зоны повышенной влажности происходит испарение. Это означает, что действующее там давление пара P должно соответствовать давлению насыщенного пара $P_н$; это происходит до тех пор, пока вся возникшая вследствие образования конденсата влага не диффундирует наружу. Так, на диаграмме $1/\Delta$ — P возникают различные плотности диффузионных потоков, из распределения которых может быть найдено количество высыхающей влаги. Далее рассматривается высыхание в одно- и многослойных конструкциях.

4.1. Однослойная конструкция. *Давление насыщенных паров.* Образование конденсата в однослойных конструкциях происходит в широкой зоне сечения. Если пренебречь распространением конденсационной влаги в другие сечения конструкции, то можно счи-

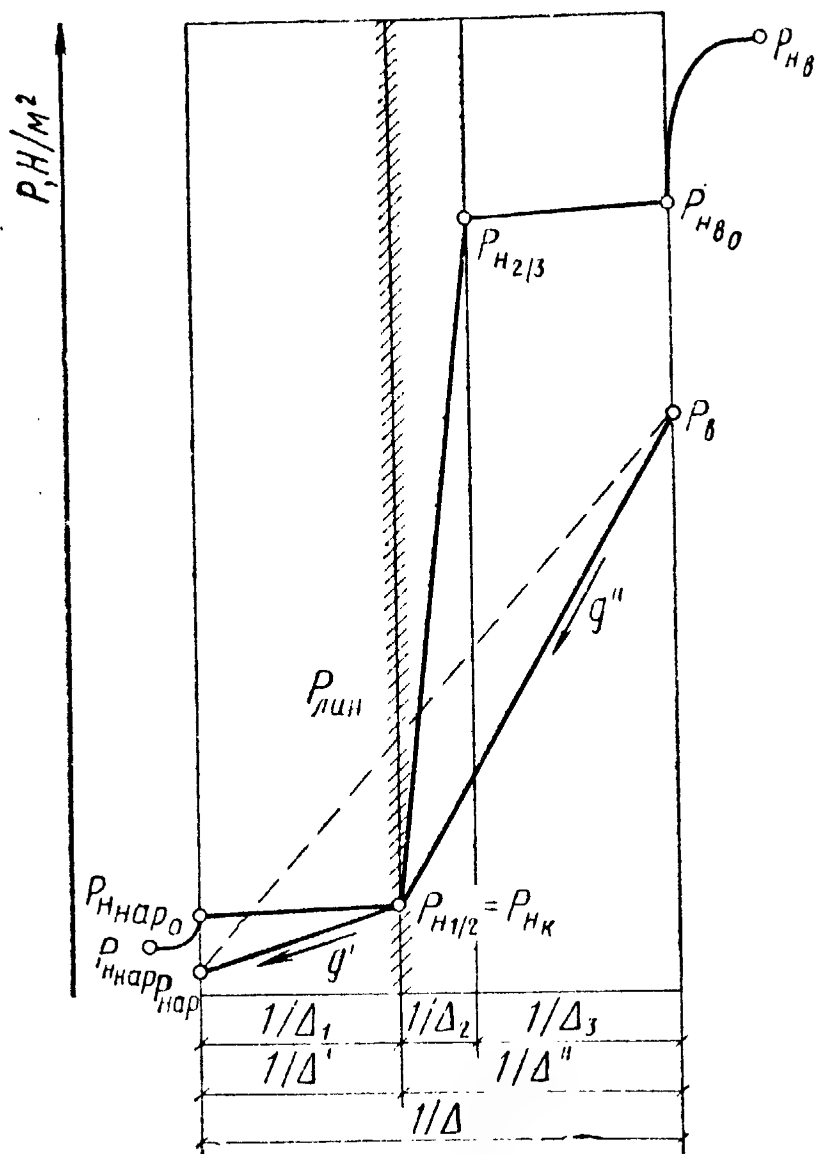


Рис. 15. Давления пара в многослойной конструкции в зимнее время. Линия давлений пара $P_в$—$P_{нар}$ огибает снизу кривую давлений насыщенных паров. Разница плотностей диффузионных потоков g''—g' дает количество конденсата $g_к$, выпадающего за 1 ч. На определенной границе слоев (между слоями 1 и 2) возникает плоскость переувлажнения (заштрихована)

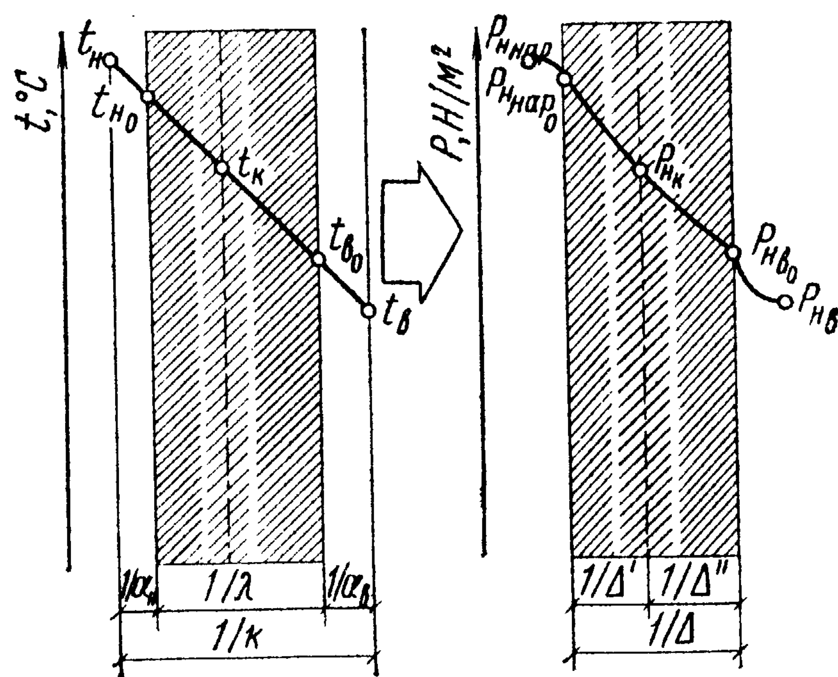


Рис. 16. Температуры и давления насыщенных паров в однослойной конструкции в летнее время. Температуры на диаграмме 1/k—t связаны с приведенными на диаграмме 1/Δ—P давлениями насыщенных паров. Установление значений $t_к$ и $P_{н_к}$ в середине зоны переувлажнения является достаточным

тать, что теоретически высыхание происходит от краев зоны переувлажнения. Однако для упрощения расчетов примем, что высыхание зоны переувлажнения идет изнутри наружу. Преимущества этого предположения будут показаны ниже.

Вначале с помощью диаграммы $1/k$ — t или путем расчета устанавливаются температура $t_к$ в середине зоны конденсации и соответствующее ей давление насыщенных паров $P_{н_к}$. Это значение переносится на диаграмму $1/\Delta$ — P (рис. 16).

Так как в сечении, где ранее образовался конденсат, возникает давление насыщенных паров, распределение текущих значений давлений пара должно быть таким: $\overline{P_{н_к} - P_в}$ и $\overline{P_{н_к} - P_{нар}}$ (рис. 17).

Сумма плотностей диффузионного потока g' и g'' для распределений давлений пара $\overline{P_{н_к} - P_в}$ и $\overline{P_{н_к} - P_{нар}}$ дает количество высыхающей за час влаги $g_в$ [кг/ (м^2 · ч)]:

$$g_в = g'' + g' = (P_{н_к} - P_в) : \frac{1}{\Delta''} + (P_{н_к} - P_{нар}) : \frac{1}{\Delta'} \ . \qquad (27)$$

При этом очевидно, что условия высыхания из середины зоны конденсации наружу являются менее благоприятными, чем от краев зоны. В последнем случае произошло бы повышение давления пара и, следовательно, плотности диффузионного потока. Поэтому и высыхание происходило бы быстрее. Принятие при расчете «в запас прочности» условия высыхания из середины зоны переувлажнения наружу к защищенной сороне тоже рационально.

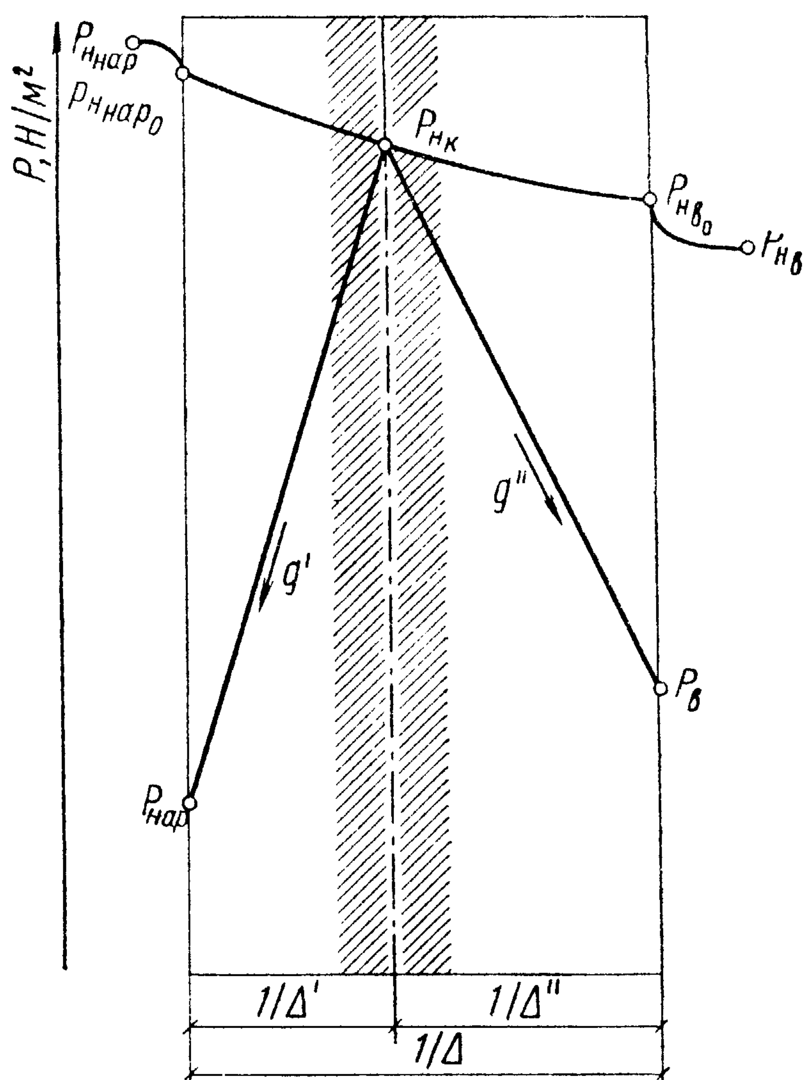


Рис. 17. Давления пара в однослойной конструкции при высыхании в летнее время. В середине зоны переувлажнения (заштрихована) давление насыщенных паров составляет $P_{н_{нар}}$. Сумма плотностей диффузионных потоков $g''+g'$ дает количество высыхающей за 1 ч влаги $g_в$

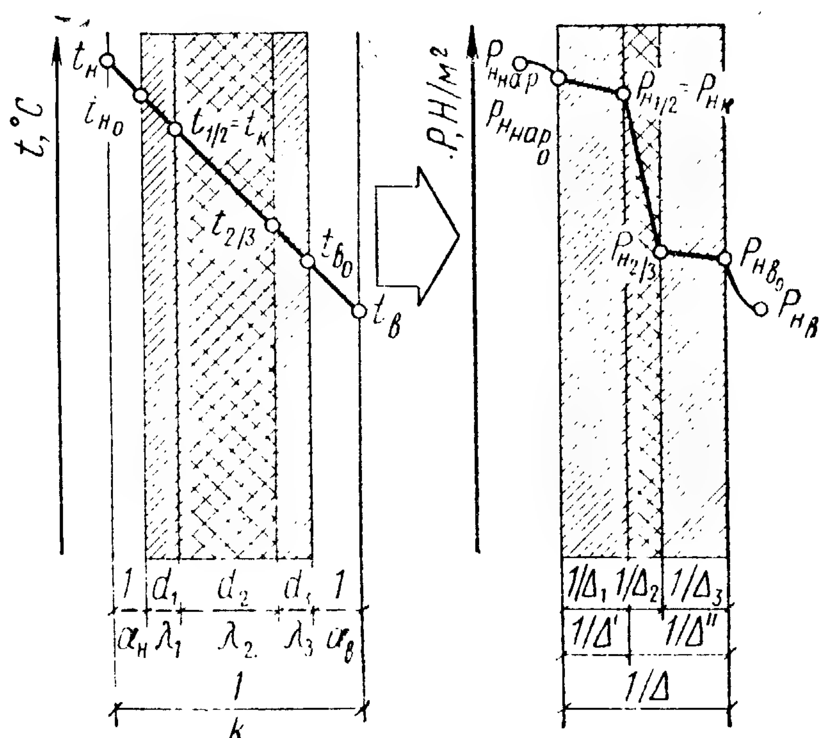


Рис. 18. Температуры и давления насыщенных паров в многослойных конструкциях в летнее время. Температуры на диаграмме $1/k-t$ на границах слоев и поверхностях конструкции связаны с приведенными на диаграмме $1/\Delta-P$ давлениями насыщенных паров

Если условия в течение времени T (ч) остаются неизменными, то количество высыхающей за отрезок времени T (ч) влаги $G_в$ составляет:

$$G_в = g_в T. \qquad (28)$$

4.2. Многослойная конструкция. Температуры на границах слоев определяются или рассчитываются известным образом при помощи диаграммы $1/k - t$. Полученные с их помощью давления насыщенных паров переносятся на диаграмму $1/\Delta - P$ (рис. 18). Вообще, чтобы установить, происходит ли выпадение в определенных сечениях конденсата, достаточно определить в них температуру $t_к$ и давление насыщенного пара $P_{н\ к}$.

Несмотря на то, что после выпадения конденсата влага может быть абсорбирована соседними слоями, в дальнейшем расчете исходят из того, что весь конденсат остается в границах слоя выпадения. Находящаяся здесь вода и подвергается испарению. Текущее давление пара P в этом сечении оказывается, таким образом, равным давлению насыщенного пара $P_{н\ к}$. Текущее распределение давлений пара представлено на рис. 19.

Поскольку во время сушки $t_н \gg t_в$, для многослойной конструкции может случиться так, что в широких границах слоя давление насыщенных паров $P_н$ окажется ниже $P_{лин}$ (рис. 20). Исходя из правила, что ни в каком сечении конструкции $P_н$ не может быть меньше P, текущее давление пара между $P_{н_{1/2}}$ и $P_{н\ 2/3}$ в предыдущем примере следует принять равным давлению насыщенного пара.

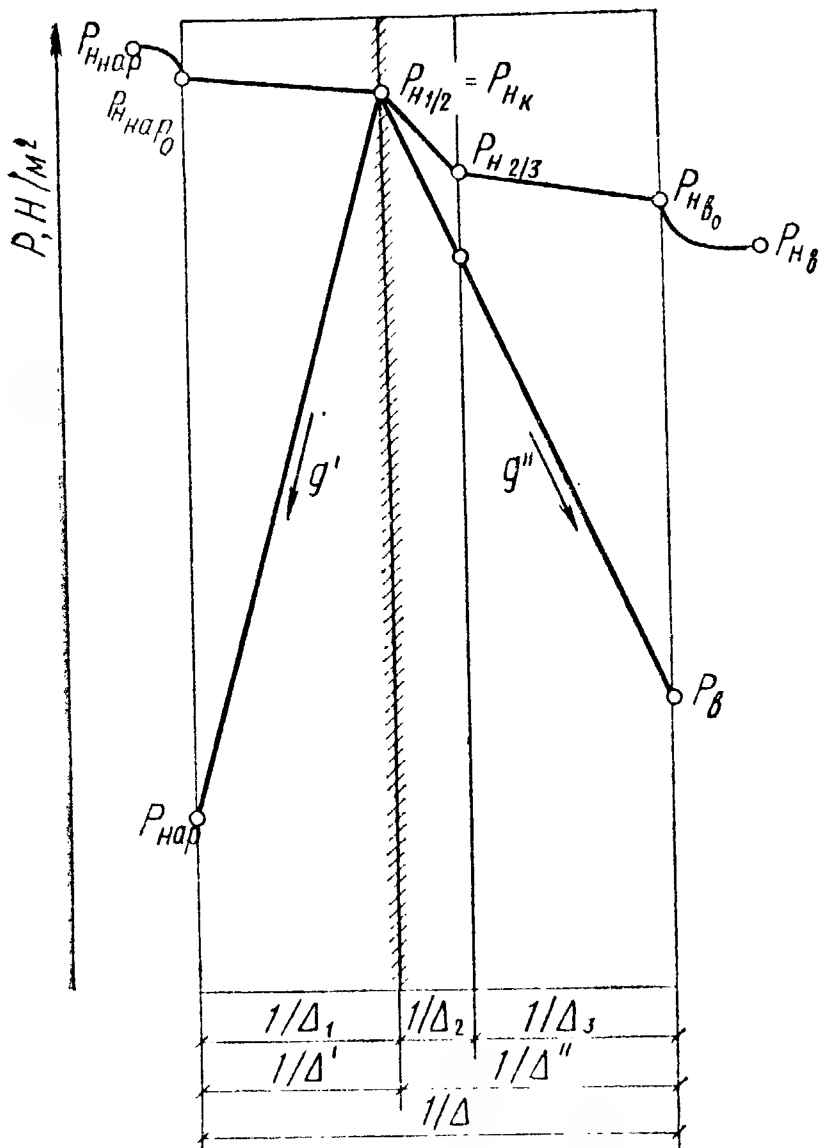


Рис. 19. Давления пара в многослойной конструкции в летнее время. На границе слоя с выпавшим конденсатом образуется давление насыщенных паров $P_{н_к}$. Сумма плотностей диффузионных потоков $g''+g'$ дает количество высыхающего за 1 ч конденсата $g_в$

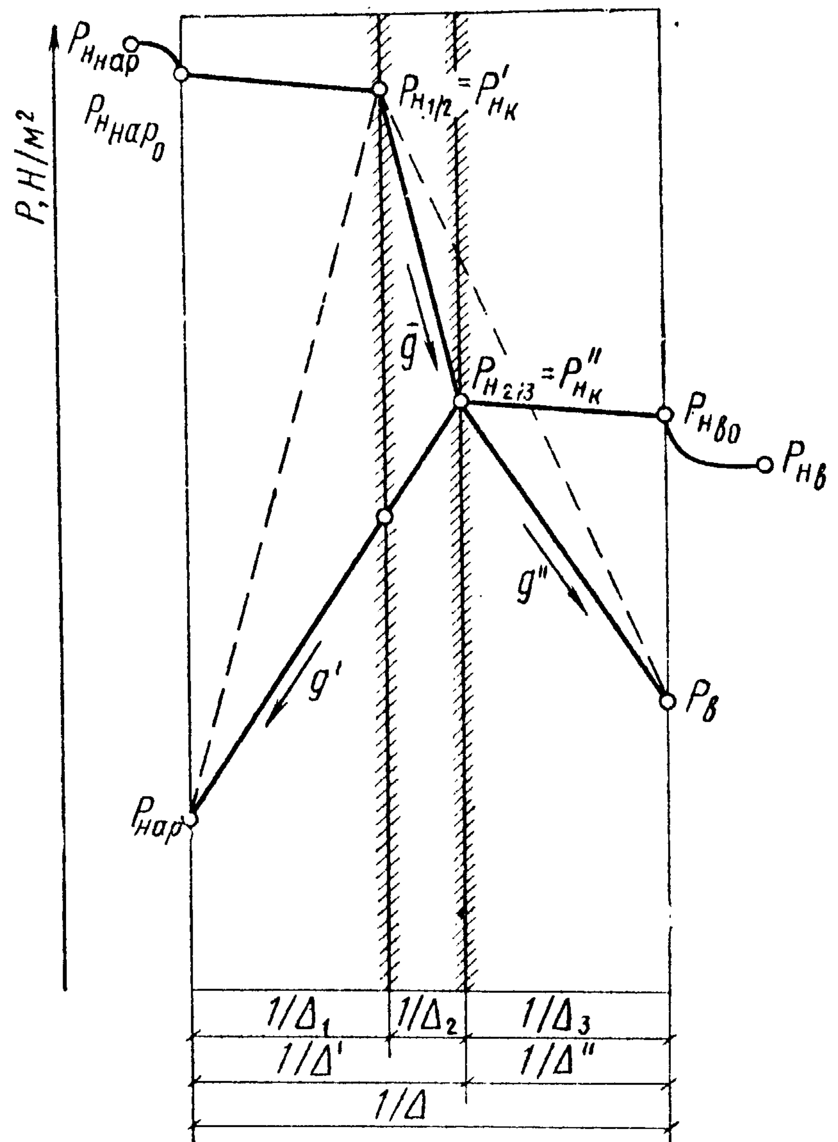


Рис. 20. Давления пара в многослойной конструкции в летнее время. На границе слоя с выпавшим конденсатом создается давление насыщенных паров $P_{н_{1/2}} = P'_{н_к}$. Вследствие того, что $t_н$ намного выше, чем $t_в$ и поэтому $P_{н_{нар}}$ значительно больше, чем $P_{н_в}$, создается препятствие для прямого высыхания от $P'_{н_к}$ до $P_в$. При плотности свыше $\bar{q}$ создается зона быстрого удаления конденсата до давления $P''_{н_к}$. Сумма плотностей диффузионных потоков $g''+g'$ дает количество конденсата $g_в$, высыхающего до 1 ч

Таким образом, при давлении паров, вызванном высушиванием, происходит образование нового конденсата на границе слоев 2 и 3: $P_{н_{2/3}} = P_{н_к}$.

Далее следует обратить внимание на то, что влага от границы слоев 1/2 большей частью удаляется к границе слоев 2/3 до конца периода высыхания, и тем быстрее, чем больше плотность диффузионного потока $\bar{g}$ между $P_{н\,1/2}$ и $P_{н\,2/3}$.

Если говорить о защищенной стороне, то целесообразно в предыдущем примере давление насыщенных паров $P_{н_{2/3}} = P_{н_к}$ рассматривать как исходную точку высыхания наружу и внутрь. Распределением текущих давлений пара является тогда и $\overline{P''_{н_к} - P_в}$ и $\overline{P''_{н_к} - P_{нар}}$.

О предыдущем случае можно говорить, как о «высыхании с препятствием».

Количество высыхающего конденсата. Суммы плотностей диффузионных потоков g'' и g' дают количество высыхающего за 1 ч конденсата $g_в$ [кг/ (м² · ч)]. При беспрепятственном высыхании

$$g_в = g'' + g' = \frac{P_{н_к} - P_в}{1/\Delta''} + \frac{P_{н_к} - P_{нар}}{1/\Delta'} . \qquad (29)$$

При наличии препятствия

$$g_в = g'' + g' = \frac{P''_{н_к} - P_в}{1/\Delta''} + \frac{P''_{н_к} - P_{нар}}{1/\Delta'} . \qquad (30)$$

Если климатические условия в период времени T (ч) остаются неизменными, то количество высыхающей за этот период времени влаги $G_в$, кг/м^2, составляет

$$G_в = g_в T . \qquad (31)$$

5. Влияние конденсата на теплоизолирущую способность.

5.1. Прирост влажности. Если на границе слоя (многослойной конструкции) или в самом слое (однослойная конструкция или конструкция, описанная в разд. 3.2), выпадает конденсат, то слой конструкции переувлажняется. При этом имеет значение водопоглощающая способность соответствующих материалов, особенно теплоизоляционных слоев. Для оценки водопоглощающей способности теплоизоляционных материалов могут быть использованы данные табл. 7 о высоте всасывания [91].

ТАБЛИЦА 7. ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ [91, табл. 120]

Материал	Высота всасывания, см	Поглощающая способность
Обожженная пробка	До 0,5	Слабая
Пробка на смолах	До 5	Средняя
Полиуретан	До 1	Слабая
Гранулированный полистирол	Свыше 1	»
Экструдированный полистирол	0	Отсутствует
Древесные или прессованные плиты с наполнителем соломой	>30	Сильная
Легкие древесношерстяные плиты	>30	»
Минерально-волокнистые изоляционные материалы, не битуминизированные	>30	Сильная
Пеностекло	0	Отсутствует

Особенно важно установить увеличение влажности теплоизоляционных слоев, поскольку коэффициент их теплопроводности λ сильно зависит от содержания в них влаги.

Как правило, если на поверхности или внутри слоя теплоизоляции выпадает конденсат и теплоизоляционный материал насыщается водой (высота всасывания > 0 см), то для дальнейшего расчета следует принимать наиболее неблагоприятный случай, при котором общее количество выпадающего конденсата заполняет весь утепляющий слой.

Содержание влаги в воздушно-сухом состоянии обозначается в процентах от массы (утеплители — органические материалы) или в процентах от объема (неорганические материалы) (табл. 8). В течение периода переувлажнения (зима) вследствие образования дополнительного количества коденсата содержание влаги повышается. В зависимости от обстоятельств условия на поверхности конструкции могут быть описаны следующим образом.

ТАБЛИЦА 8. УВЕЛИЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ИЗ-ЗА ПОВЫШЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ВЛАГИ

Материал	Содержание влаги в воздушно-сухом состоянии, %		Прирост Z, на каждый % по массе; то же, по объему
	по массе	по объему	
Кирпич:			
полнотелый	—	1	20
пустотелый	—	2	12,5
Бетон, силикатный кирпич, газобетон, шлако- или пемзобетон, деревобетон	—	5	12
Гипсовые плиты	—	2	12,5
Древесностружечные плиты (DIN 68761); древесноволокнистые плиты (DIN 68750); легкие плиты из древесной шерсти (DIN 1101); соломо- или камышитовые пустотелые плиты	20	—	1
Прочие органические волокнистые утеплители	20	—	1
Пробковые плиты	10	—	1
Неорганические волокнистые утеплители	5	—	2
Вспененные искусственные материалы	5	—	2

Примечание. В дополнение к необходимым для расчетов значениям Z приведены также значения содержания влаги в некоторых строительных материалах в так называемом воздушно-сухом состоянии [88, с. 58], [91, с. 211 и последующие].

Прирост влажности $U_в$ (% по массе) переувлажненного слоя, отнесенный к массе единицы площади поверхности M, составляет:

$$U_в = G_к : M \cdot 100. \quad (32)$$

$V_к$ — объем конденсата $G_к$, выпавшего во время переувлажнения. Прирост влажности $U_{об}$ переувлажненного слоя, отнесенный к единице объема V, составляет:

$$U_{об} = V_к : V \cdot 100. \quad (33)$$

5 2. Изменение коэффициента теплопроводности переувлажненного слоя. Если прирост влажности из-за выпадения конденсата определяют в соответствии с указаниями разд. 5.1, то может быть

установлено, на сколько процентов (Z) увеличился коэффициент теплопроводности λ переувлажненного слоя при увеличении влажности на 1% по массе или объему.

Значения прироста Z (процентное повышение коэффициента теплопроводности на каждый массовый или объемный процент прироста влажности) приведены в табл. 8. Тогда коэффициент теплопроводности $\lambda_{вл}$ [Вт/ (м^2 · °С)] слоя строительного материала после переувлажнения составляет в % по массе:

$$\lambda_{вл} = \lambda \left(1 + \frac{U_м Z}{100} \right); \tag{34}$$

в % по объему

$$\lambda_{вл} = \lambda \left(1 + \frac{U_{об} Z}{100} \right), \tag{35}$$

Следует обратить внимание на то, что из-за переувлажнения одного слоя изменяется термическое сопротивление ($1/\Lambda$) всей конструкции.

6. **Конденсат на внутренней поверхности наружных конструкций. 6.1. Определение температуры на внутренней поверхности $t_{в_0}$ в произвольном сечении.** Температура на внутренней поверхности $t_{в_0}$ может быть определена либо по диаграмме $1/k$ — t (рис. 11), либо вычислена по формуле (22):

$$t_{в_0} = t_в - \frac{t_в - t_н}{1/\alpha_н + 1/\Lambda + 1/\alpha_в} \frac{1}{\alpha_в}. \tag{36}$$

6.2. **Определение температуры поверхности на внутренней стороне наружных углов зданий $t^г_{в_0}$.** Углы здания зимой относительно плохо воспринимают тепло поверхностью с внутренней стороны и много лучше отдают тепло поверхностью с наружной стороны [8,17]. Кроме того, на внутренней стороне углов следует ожидать меньшего потока (движения) воздуха, чем перед другим произвольным сечением. Для углов стен практически принимается повышенное сопротивление тепловосприятию $1/\alpha_в$. Для расчета температуры в углу $t^г_{в_0}$ может быть принято приблизительно в 3 раза большее сопротивление тепловосприятию, чем $1/\alpha_в$, т. е. $1/\alpha^г_в = 3 \cdot 1/\alpha_в$. Сопротивление теплоотдаче $1/\alpha_н$ не учитывается (рис. 21). При расчете температуры в углу помещения им можно пренебречь:

$$t^г_{в_0} = t_в - \frac{t_в - t_н}{1/\Lambda + 1/\alpha_в} 3 (1/\alpha_в). \tag{37}$$

6.3. **Образование конденсата на внутренней поверхности.** Значениями расчетных температур внутренней поверхности $t_{в_0}$ или $t'_{в_0}$ обусловлены определенные давления насыщенного пара $P_{нв_0}$ или $P'_{нв_0}$. Текущим давлением пара внутри помещения является $P_в$. Оно действует непосредственно на внутренней поверхности, поскольку зона паероперехода является пренебрежимо малой.

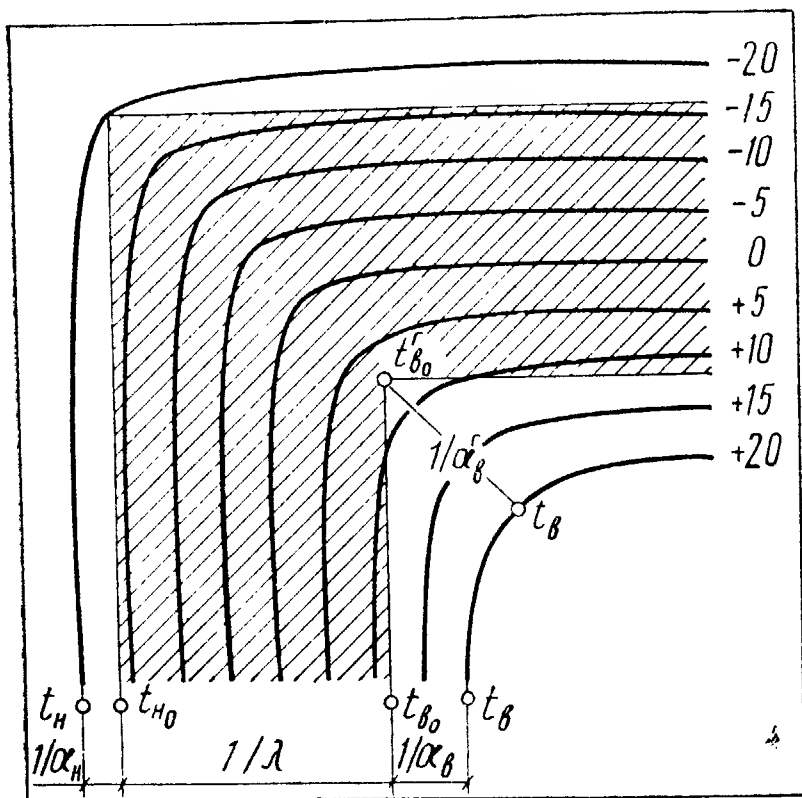


Рис. 21. Распределение температур в наружном углу стены. Схематическое представление вида изотерм (°С) в области наружного угла стены. Температура внутренней поверхности угла $t^{г}_{в_0}$ действительно ниже, чем температура внутренней поверхности $t_{в_0}$ в произвольном сечении по полю стены

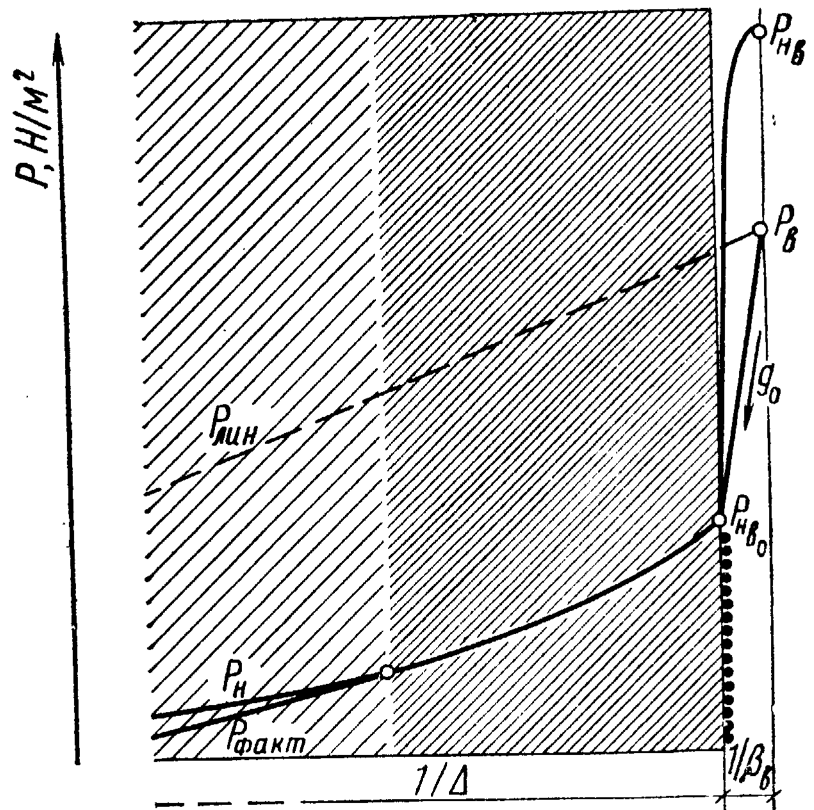


Рис. 22. Образование конденсата на поверхности. На диаграмме $1/\Delta - P$ представлена с учетом внутреннего сопротивления переходу пара $1/\beta_в$ близкая к внутренней поверхности область поперечного сечения конструкции. Преобладающее количество конденсата выпадает непосредственно на внутренней поверхности. Вследствие постоянно уменьшающейся в самой конструкции плотности диффузионного потока (кривая изменения давлений насыщенного пара!) в конструкции происходит также образование конденсата в близкой к поверхности зоне (густо заштрихованная область)

Текущее давление пара $P_в$ становится поэтому сопоставимым с давлением насыщенного пара на внутренней поверхности $P_{нв_0}$ или $P^г_{нв_0}$. Если $P_в$ превышает значение $P_{нв_0}$ или $P^г_{нв_0}$, то на внутренней поверхности выпадает конденсат, т. е. воздух помещений на внутренней поверхности ограждения охлаждается до такой степени, что превышается соответствующая этой температуре максимально возможная концентрация водяного пара. Избыточное количество водяного пара на холодной внутренней поверхности должно превратиться в конденсат.

Количество выпадающего на поверхности конденсата всегда весьма велико, так как сопротивление переходу пара $1/\beta$ имеет очень маленькую величину (по сравнению с сопротивлением паропроницанию строительных материалов). Плотность диффузионного потока g_0 между внутренним воздухом и внутренней поверхностью соответственно высока (рис. 22).

УКАЗАНИЯ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ

1. Предотвращение выпадения конденсата на поверхности. Появление (или отсутствие) конденсата на поверхности — следствие и показатель эффективности теплозащиты конструкции. Для предотвращения образования конденсата на поверхности принципиально существует только один способ — повышение теплозащиты наружной конструкции. При этом проблема состоит в том, что для

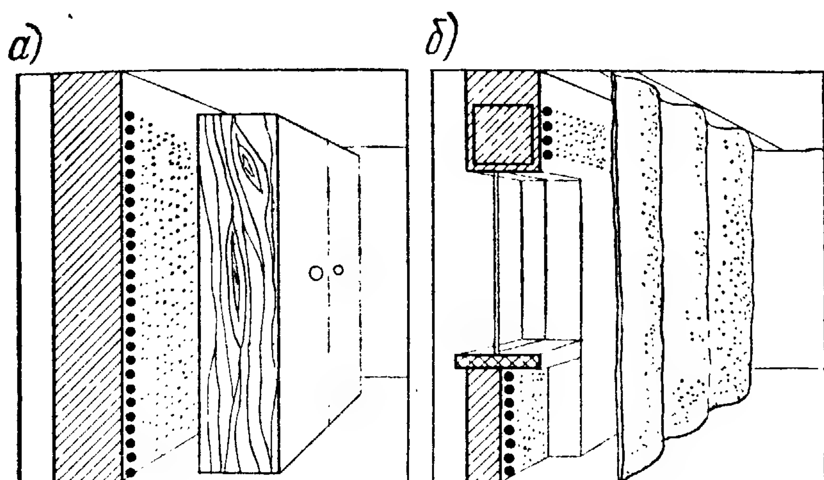


Рис. 23. Конструктивные предпосылки для образования конденсата на поверхности. Помимо плохо утепленных сечений конструкций ограждений и наружных углов, конденсат может образоваться в местах с пониженной циркуляцией воздуха (*а*) или против так называемых конструктивных тепловых мостиков (плохо утепленных бетонных перемычек и др.) (*б*). Способствует образованию конденсата и пониженная циркуляция воздуха (наличие занавесей и др.)

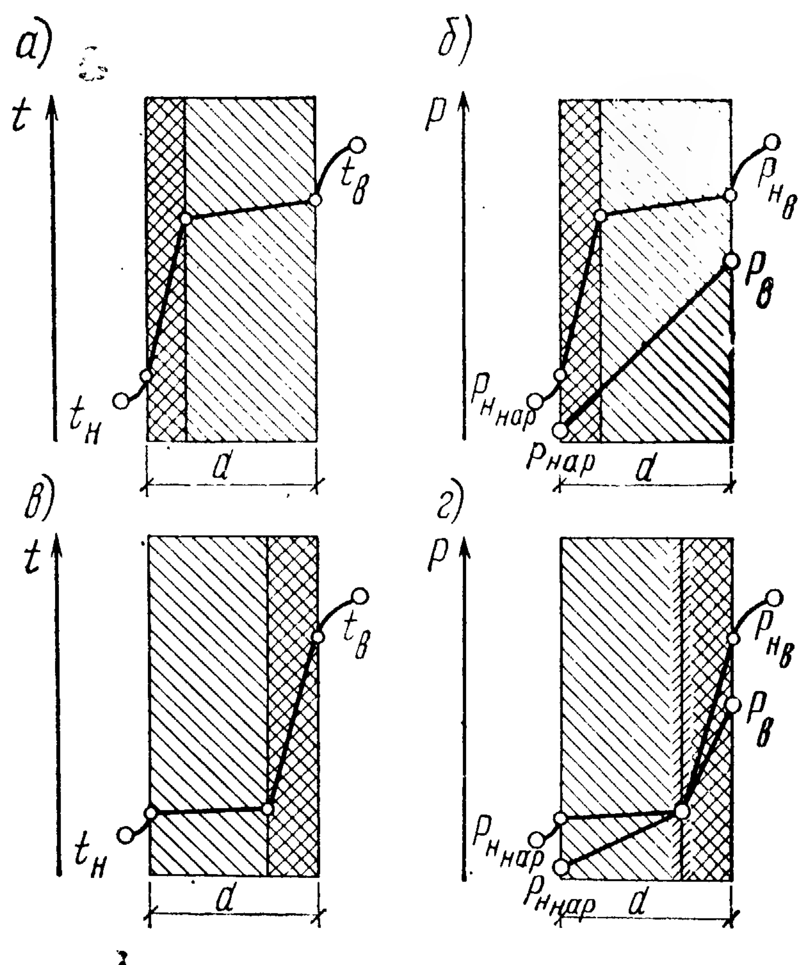


Рис. 24. Влияние расположения слоев на образование конденсата в сечении конструкции. Показано изменение температур и давлений пара в двухслойной конструкции в зимнее время. Температуры и давления пара нанесены против действительных толщин слоя *d*

а, б — соответственно соотношения температур и изменение давлений пара при расположении утепляющего слоя на наружной стороне (конденсат не выпадает); *в, г* — соответственно соотношение температур и изменение давлений пара при расположении утепляющего слоя на внутренней стороне [такая последовательность слоев вызывает неизбежное образование конденсата (сильно заштриховано) в сечении конструкции]

предотвращения выпадения конденсата на поверхности внутренних углов наружных конструкций их теплозащитная способность должна быть почти втрое больше, чем по полю стены, поскольку в основе проектирования лежат лишь требования о минимальной теплозащите по устаревшим нормам DIN 4108 [321].

Между тем с выходом листка Министерства земли Северный Рейн — Вестфалия и особенно Постановления по теплощазите [382] стала дискутироваться достаточность принятого значения термического сопротивления $1/\Lambda_{\text{треб}}$ по полю стены для предотвращения образования конденсата в углах.

На рис. 23 показано, что повышенная теплозащита необходима для предотвращения выпадения конденсата на поверхности. Часто случается, что за придвинутым к наружной стене шкафом на ее поверхности образуется влага [54]. Причину этого следует искать в повышенном сопротивлении тепловосприятию $1/\alpha_{\text{в}}$ вследствие уменьшения скорости движения воздуха. Как видно из рис. 23, особое внимание следует уделять так называемым конструктивным тепловым мостикам[1]. Речь идет о плохо утепленных элементах ограждения в областях повышенной теплозащиты, на внутренней стороне которых может образоваться конденсат [53, 228].

2. Предотвращение выпадения конденсата в толще конструкции. Если рассматривать вероятность распределения давлений пара на

[1] Мостики холода. (*Прим. перев.*)

диаграмме $1/\Delta$ — P (рис. 24), то с точки зрения процесса диффузии наиболее рациональна такая последовательность слоев, при которой сопротивление теплопередаче уменьшается, а сопротивление паропроницанию возрастает снаружи внутрь. Нарушение этого положения даже без расчета свидетельствует о возможности выпадения конденсата в сечении конструкции. Такие конструкции в каждом конкретном случае следует проверять на образование конденсата.

2.1. Стены. Несоблюдение указанного выше положения при устройстве наружных стен не влечет за собой серьезных повреждений из-за образования конденсата. Исследования [270, 274] показали, что повреждения в сечении стен встречаются чрезвычайно редко, поскольку строительные материалы, обычно применяемые при устройстве стен, имеют достаточную паропроницаемость. Благодаря этому почти всегда конденсат в летнее время в достаточном объеме диффундирует в обе стороны. Влага в толще стены может только тогда приводить к повреждениям, когда стена подвергается совместному воздействию сильного дождя и порывистого ветра. Переувлажнение само по себе создает много серьезных проблем, которые в данной книге не рассматриваются. Читателю можно рекомендовать по этому вопросу специальную литературу [18, 168, 179, 183, 204, 210, 219, 222, 224, 226, 230, 268, 282, 283, 335].

Грубые ошибки с точки зрения оценки диффузии паров возможны лишь в немногих случаях, в частности при расположении эффективной дополнительной теплоизоляции на внутренней стороне стены, вследствие чего давление насыщенных паров на границе между теплоизоляцией и несущей конструкций поднимается настолько, что это может привести к выпадению слишком больших количеств конденсата (рис. 24).

Если теплоизолирующую способность наружной стены необходимо усилить с внутренней стороны (во многих случаях это экономически оправданное решение), следует обратить внимание на то, чтобы в качестве утепляющих слоев применялись лишь относительно паронепроницаемые пенопласты с замкнутыми пустотами. Этим обеспечивают некоторую задержку паров на внутренней стороне, что, принимая во внимание приведенное выше общее приложение о последовательности слоев, может быть только полезным.

Для защиты от интенсивных дождей на наружные стены необходимо наносить водонепроницаемые или водоотталкивающие покрытия [18, 3, 172, 177, 215, 216, 241]. Они, как правило, относительно паронепроницаемы и образуют преграду для диффузии паров изнутри наружу. В результате последний слой становится слишком паронепроницаемым, и это вновь приводит к повышению давления пара, как показано на рис. 24.

Всегда следует обращать внимание на то, чтобы при обработке фасадов применяли только такие покрытия, которые при оптимальном по возможности водоотталкивающем эффекте имели бы как можно меньшую паронепроницаемость. В противном случае, если одновременно на внутреннюю поверхность стены не нанесли паро-

непроницаемые слои (типа фольги), то при образовании конденсата непосредственно под покрытием это может привести к его отслоению или образованию в нем вздутий. Та же проблема возникает, если наружная стена с наружной стороны облицована обжиговыми материалами (клинкер, керамика и др.) [270, 54, 275].

2.2. Однослойная невентилируемая крыша (теплая крыша). В противоположность наружным стенам у однослойной невентилируемой теплой кровли диффузия паров, как возможная причина повреждений, играет очень большую роль [271]. Здесь абсолютно паронепроницаемый слой (оболочка кровли) лежит на наружной стороне, что, как известно, нарушает изложенное выше правило (рис. 24). Поэтому образование конденсата в толще кровли таких конструкций представляет собой одну из наиболее распространенных причин повреждений.

Вследствие крайне высокой паронепроницаемости оболочки кровли (во многих публикациях $1/\Delta$ оболочки кровли, как правило, принимается равным ∞) почти всегда зимой образуется конденсат между оболочкой кровли и слоем теплоизоляции (рис. 25).

Особенно опасно образование конденсата под оболочкой кровли в тех случаях, когда находящийся под ней слой теплоизоляции не обладает или почти не обладает водопоглощающими свойствами (например, пенопласты). К началу теплого времени года (март, апрель) вследствие интенсивного солнечного облучения находящаяся под оболочкой кровли вода может быстроиспариться (рис. 26). Создающееся при этом избыточное давление (вода испытывает при испарении почти 1000-кратное увеличение объема) ведет к образованию так называемых паровых вздутий, которые, если поступление конденсата не прекращается через определенное время, могут привести к кратерообразному разрыву оболочки кровли со всеми сопутствующими отрицательными явлениями. Чтобы количество выпадающего под оболочкой кровли конденсата было по возможности меньше, под слоем теплоизоляции необходима усиленная пароизоляция, эквивалентная по своей способности к диффузии слою воздуха толщиной μd = 100—150 м. Для этого пригодны алюминиевая фольга (125 г/м^2, дублированная с двух сторон), рулонный кровельный материал на основе стеклоткани, приклеенный на битумной мастике, или кровельный материал на битумной основе. При применении такой пароизоляции необходимо обеспечивать указанное выше значение коэффициента паропроницания μ.

Кроме того, можно использовать так называемый выравнивающий слой, задачей которого является выровнять (распределить по горизонтали) возникающее при испарении излишнего количества конденсата местное избыточное давление. Вентиляции или даже только диффузии паров под влиянием разности давлений этот слой не допускает. В качестве выравнивающего слоя пригоден перфорированный картон или стеклоткань на битумной основе, с помощью которых кровельный ковер приклеивается точечным способом (благодаря этому между точками приклеивания образуются отдушины

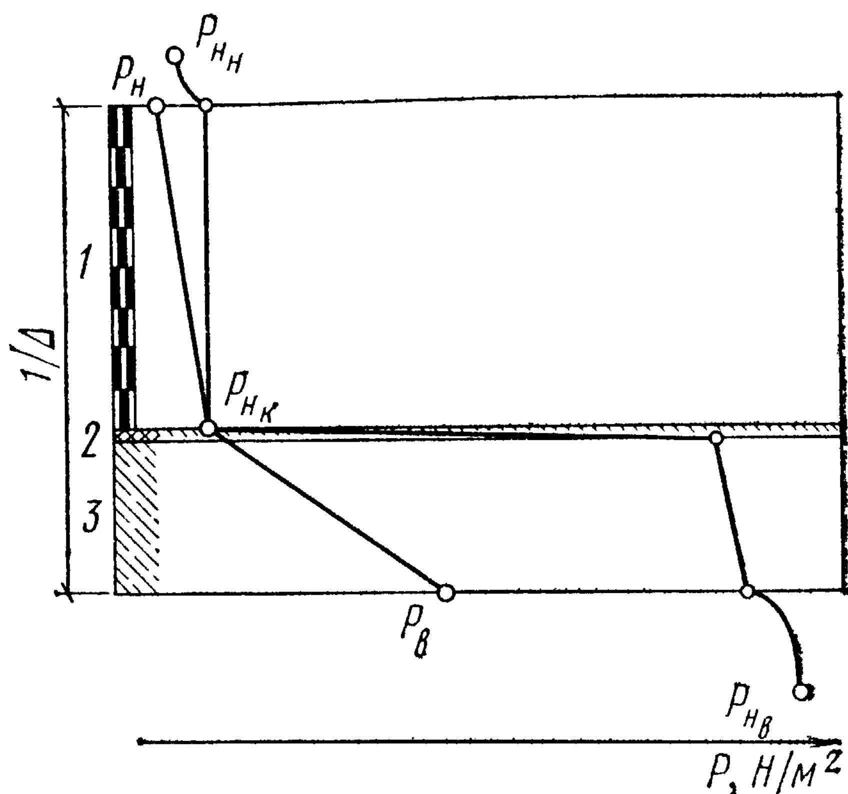


Рис. 25. Давление пара в теплой крыше в зимнее время. Отдельные слои нанесены в масштабе своих сопротивлений паропроницанию (диаграмма 1/Δ—*P*). Образование конденсата происходит непосредственно под оболочкой кровли и приводит к переувлажнению слоя теплоизоляции

1 — оболочка кровли; *2* — слой теплоизоляции; *3* — нижняя конструкция (пароизоляция, несущая часть покрытия)

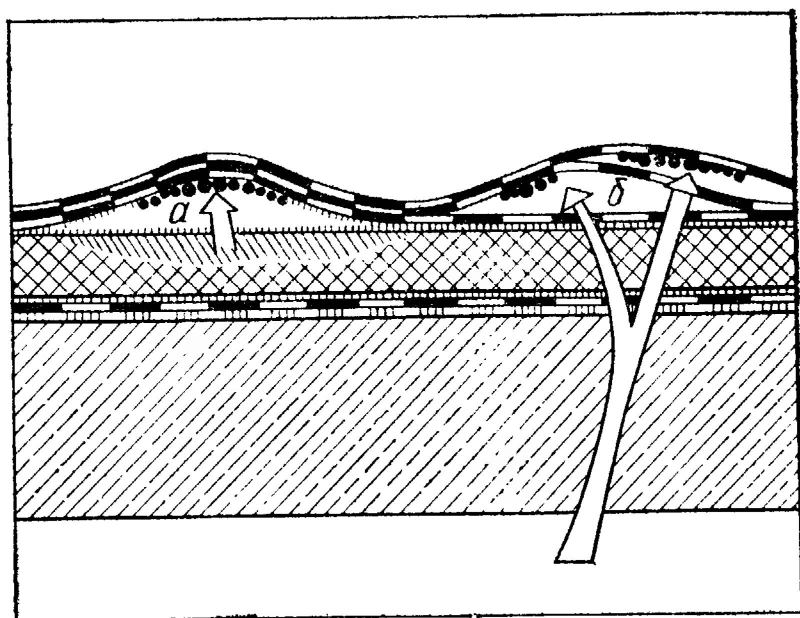


Рис. 26. Образование вздутий у теплой крыши. Быстро испаряющаяся из слоя теплоизоляции вода вызывает избыточное давление пара и ведет к выпучиванию оболочки кровли (*а*). Это — результат отсутствия верхнего выравнивающего слоя; оболочка кровли всей поверхностью приклеена к теплоизоляции. При повторном похолодании пар может вновь конденсироваться. Если кровля нагревается, оболочка начинает выпучиваться (эффект насоса). При приклеивании гидроизоляционного ковра не по всей поверхности между слоями образуются воздушные полости, на верхней стороне которых может выделяться конденсат (*б*)

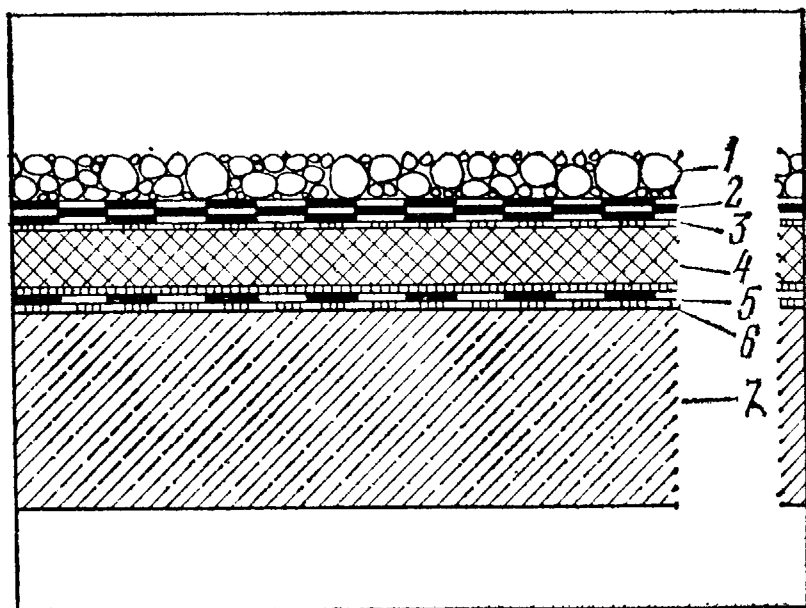


Рис. 27. Расположение слоев правильно выполненной теплой кровли (см. описание в тексте)

для избыточного давления пара). Грубоволокнистый картон для этой цели, как правило, непригоден.

Важно, чтобы слой теплоизоляции был уложен сухим, так как однажды попавшая в конструкцию вода через пароизоляцию вниз или через еще более плотный гидроизоляционный ковер вверх высыхает очень медленно. Если выравнивающий слой на верхней стороне водонепроницаем, то его всегда следует укладывать вместе с теплоизоляцией, так как при перерыве в работе концы выравнивающего слоя и пароизоляции могут быстро склеиваться между собой. Таким образом теплоизоляция оказывается защищенной от влияния погодных условий.

На рис. 27 показана конструкция теплой крыши, соответствующая сегодняшнему техническому уровню. Дальнейшие указания могут быть почерпнуты в приводимом в конце раздела списке литературы.

Обобщая и дополняя изложенные выше положения, следует отметить, что при проектировании и устройстве теплой крыши [310, 273] необходимо обратить внимание на следующее:

1) защита поверхности (песчаной посыпкой, плитами) предотвращает преждевременное старение и чрезмерное нагревание материалов кровельного покрытия. Кроме того, кровля всегда должна иметь уклон для стекания воды. Лужи на кровельном ковре вызывают образование трещин и ускоряют их развитие;

2) битумные покрытия должны быть, по меньшей мере, трехслойными и иметь три слоя обмазки. При этом особое внимание следует обращать на тщательное, без пропусков, приклеивание каждого отдельного слоя покрытия. При использовании других кровельных материалов необходимо иметь в виду, что минимальное количество слоев следует выбирать с учетом требуемой механической стойкости;

3) ошибки при устройстве верхнего выравнивающего (снимающего напряжения) слоя ведут, как правило, к повреждению кровельного покрытия;

4) слой теплоизоляции должен быть рассчитан таким образом, чтобы вся необходимая для крыши теплозащита была обеспечена за счет него. Теплозащитное действие других слоев конструкции теплой кровли почти всегда пренебрежимо мало. Слой теплоизоляции при укладке следует сохранять сухим;

5) пароизоляция должна обладать диффузионным эквивалентом μd, соответствующим толщине слоя воздуха минимум 100 м. Правда, принимать пароизоляцию со слишком высокими значениями эквивалента ($\mu d > 200$ м) не рекомендуется, ибо это затрудняет удаление из утеплителя ранее попавшей в него влаги;

6) нижний распределительный слой (перфорированная стеклоткань на битумной основе и т. п.) должен снимать напряжения, возникающие между пароизоляцией и нижележащей конструкцией. Слишком высоких механических напряжений в пароизоляции следует избегать [248];

7) ниже пароизоляции или пустотной панели не должно быть никаких теплоизолирующих слоев. Пустоты плит покрытия должны проветриваться внутренним воздухом. Нижняя теплоизоляция приводит к образованию в сечении конструкции кровли дополнительного количества конденсата (см. рис. 24).

2.3. Двухслойная вентилируемая кровля (холодная кровля). Долгое время холодную кровлю считали надежной плоской конструкцией покрытия. Из статистики повреждений [271, 136] известно, однако, что повреждения таких кровель встречаются чаще из-за образования в них конденсата. Функциональное действие холодной кровли связано с сильным потоком воздуха, который циркулирует или должен циркулировать в пространстве между несущей оболочкой и теплоизоляцией [59, 254, 256, 286]. Если движение воздуха слишком слабо или даже прекращается, то неподвижный слой воздуха действует как слой дополнительной теплоизоляции. Следствием этого является выпадение конденсата на нижней стороне оболочки кровли или несущей оболочки (рис. 28). Даже при достаточном воздухообмене воздух в прослойке постепенно обога-

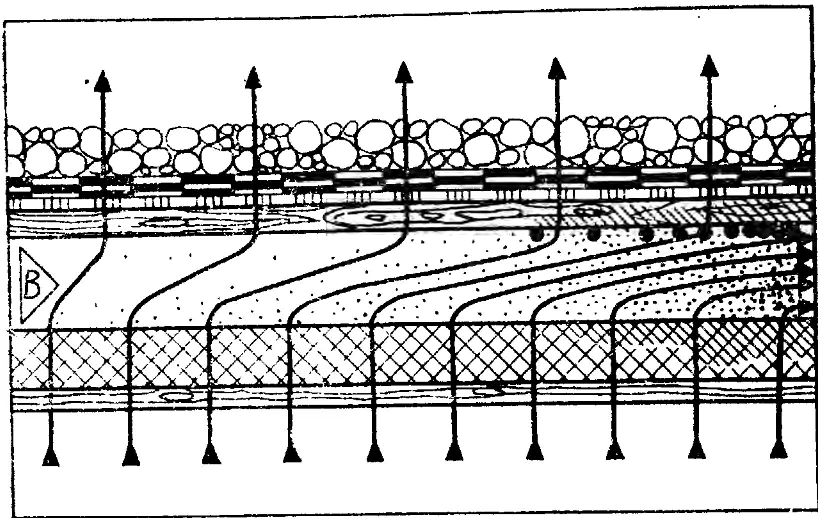


Рис. 28. Образование конденсата в холодной кровле. В воздушной прослойке в направлении потока воздуха (В) происходит увеличение содержания водяного пара, поступающего изнутри здания. Процесс идет тем быстрее, чем меньше поток воздуха. Зимой это приводит к образованию конденсата под холодной оболочкой кровли. Пароизоляция ниже слоя утеплителя необходима

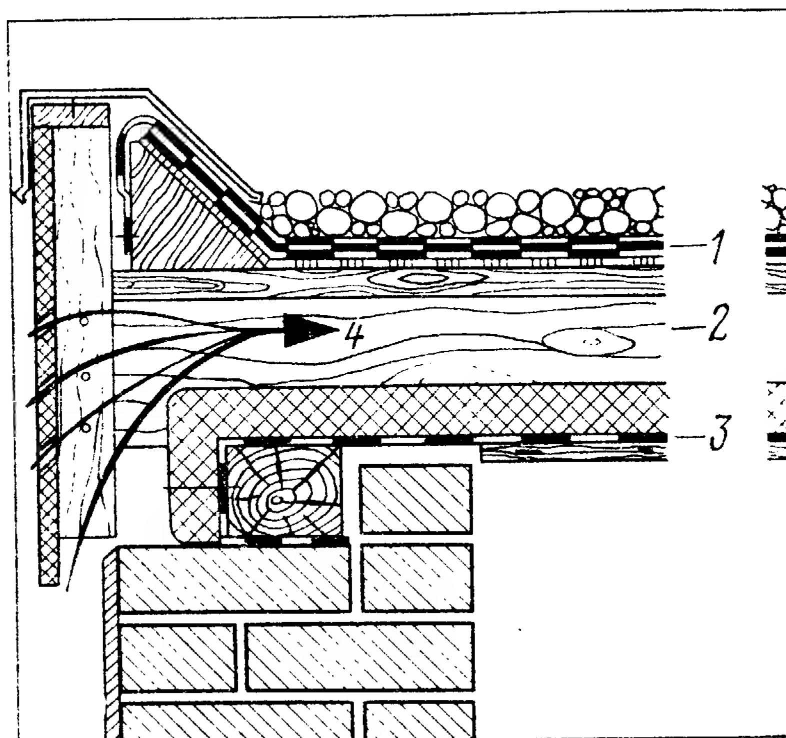


Рис. 29. Последовательность слоев и узел примыкания правильно выполненной холодной кровли (см. описание в тексте)

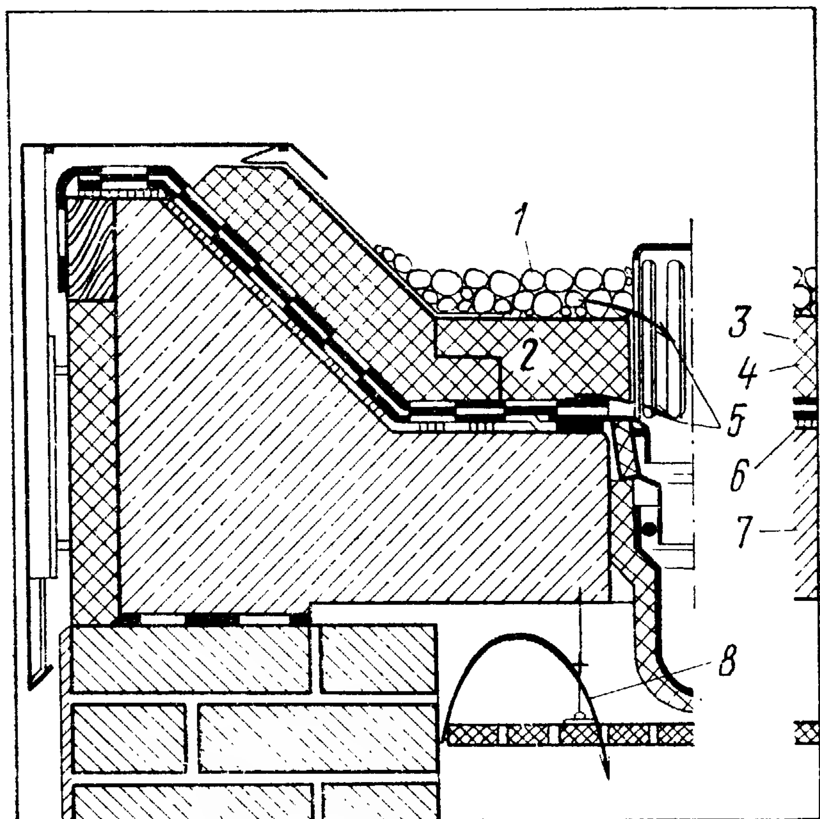


Рис. 30. Последовательность слоев и примыкания перевернутой кровли (см. описание в тексте)

щается — по мере удаления от продуха — теплом и водяным паром из внутреннего помещения. Зимой на определенном расстоянии от входного отверстия это может привести к образованию конденсата на нижней стороне несущей оболочки кровли [129] (см. рис. 28).

Таким образом, можно сформулировать следующие требования к холодной кровле (рис. 29):

а) паронепроницаемость нижней оболочки (*3*) холодной кровли должна быть эквивалентной паронепроницаемости слоя воздуха толщиной 10 м. Связь между воздухом внутреннего помещения и прослойкой недопустима;

б) высота воздушной прослойки должна быть не менее 10 см (*2*). Предпочтительна высота прослойки 30—60 см, максимальная длина ее не более 20 м;

в) чтобы обеспечить хотя бы небольшую тепловую тягу, уклон кровли должен составлять не менее 6% (*1*):

г) на двух противоположных сторонах кровли должны быть отверстия для воздуха с рабочим сечением площадью, равной 1/500 площади поверхности кровли (4);

д) во всех случаях, где достаточная вентиляция не может быть гарантирована, предпочтительна однослойная невентилируемая кровля;

е) слои теплоизоляции на нижней стороне несущей оболочки располагать не следует, необходимо избегать также малой подвижности воздуха в прослойке (см. рис. 24).

2.4. Перевернутая кровля. Все большее распространение получает конструкция перевернутой кровли. Кровельный ковер приклеивается непосредственно на нижнюю несущую конструкцию и защищается сверху выравнивающим слоем, который предохраняет его от разности деформаций (рис. 30). Последовательность слоев перевернутой кровли не нарушает диффузию паров, ее следует проектировать с учетом общих, с точки зрения диффузии, правил проектирования. При правильном выполнении кровли конденсат в сечении не образуется [104].

В качестве теплоизоляционных материалов могут применяться только такие, водопоглощение которых (см. табл. 7) в течение длительного времени практически остается равным 0. В настоящее время для этого наиболее пригоден экструдированный пенополистирол. При применении других материалов их водопоглощение следует предварительно тщательно проверять [227].

Единственная проблема для этой конструкции кровли состоит в том, что при выпадении дождей небольшая часть дождевой воды через стыки плит утеплителя может попасть под утеплитель и по кровельному ковру перемещаться дальше. Этот эффект соответствует эффекту охлаждения несущей конструкции водой и приводит зимой к повышенной потере тепла во время затяжного выпадения осадков [132, 222].

При проектировании перевернутой кровли следует иметь в виду, что в настоящее время для этого вида конструкций не установлены еще обязательные с точки зрения строительной техники правила. Недостаточен также опыт их применения, однако, например, в испытаниях на долговечность они показали себя лучше других конструкций, применяемых в практике строительства.

При проектировании и конструировании перевернутой кровли следует придерживаться следующих правил (см. рис. 30):

теплоизоляционные материалы не должны обладать водопоглощением (*3*);

стыки между плитами утеплителя должны быть по возможности воднепроницаемыми (фальц, шпонка и паз и т. д.), чтобы предотвратить протекание дождевых вод (*2*);

чтобы учесть в расчете уменьшение теплоизолирующей способности (*4*) в случае протекания воды, сопротивление теплопередаче слоя теплоизоляции d/λ следует принимать примерно на 20% больше, чем для теплой кровли, т. е. минимум 1,55 м² · ч · °С/Вт;

чтобы предотвратить сильное понижение температуры на внутренней поверхности, несущую конструкцию (*7*) следует выполнять из более тяжелого, обладающего высокой теплопроводностью материала (например, железобетон);

для предотвращения всплывания плит утеплителя пригруз должен быть достаточно высоким (*1*);

из всей дождевой воды, попавшей на поверхность плит утеплителя, небольшая ее часть просачивается в пространство между утеплителем и кровельным ковром, поэтому следует предусмотреть осушение обеих поверхностей (*5*);

при непосредственном приклеивании кровельного ковра к несущей конструкции создается опасность его повреждения даже при незначительных деформациях несущей конструкции. В каждом таком случае необходимо устройство выравнивающего слоя (например, перфорированной стеклоткани на битумной основе) между кровельным ковром и несущей конструкцией (*6*). Особой тщательности требует заделка стыков в несущей конструкции кровли;

отсутствуют достаточные сведения о поведении пенопластов после длительной эксплуатации и воздействия ультрафиолетового излучения. Рекомендуется эффективная защита поверхности утеплителя (посыпкой песком, плакированием и т. д.). Необходимо, однако, следить, чтобы такая защита поверхности не привела к образованию паронепроницаемого покрытия;

следует избегать расположения утепляющих слоев на нижней стороне несущей оболочки (*8*), а также малой подвижности воздуха в прослойке (см. рис. 24).

ТРЕБОВАНИЯ И ОЦЕНКА

1. Сборное строительство. Основой для каждого расчета паропроницаемости является диаграмма $1/\Delta - P$. Для применения этой диаграммы необходимы сведения о технических характеристиках материалов (табл. 1—8 приложения) и климатических условиях.

Климатические условия используются при расчете конструкций. Если, например, принимают наиболее низкое значение зимней наружной температуры $t_н$, то способ расчета приобретает определяющее значение, т. е. конструкции, которые рассчитывают этим способом, должны быть в отношении диффузии запроектированы более строго, чем, например, для более высоких значений $t_н$.

Ниже излагается так называемый способ сборного строительства, который требует обеспечения надежности при всех климатических условиях. Он предлагается государственными компетентными органами для новых материалов и видов строительства.

Климатические условия для способа сборного строительства приведены в табл. 9.

2. Расчет со среднемесячными значениями. Среди всех возможных оценок климатических условий ни одно не варьируется так сильно, как температура наружного воздуха $t_н$. При расчетах для сборного строительства зимняя температура наружного воздуха устанавливается равной, например, — 10° С и, кроме того, принимается, что такая идеальная зима продолжается ровно 2 мес.

Эти и другие упрощения для случаев, требующих точного анализа поведения конструкций, оказываются непригодными. Поэтому уместен вопрос, какие температуры наружного воздуха $t_н$ рацио-

ТАБЛИЦА 9. НАРУЖНЫЙ И ВНУТРЕННИЙ КЛИМАТ ПРИ СБОРНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Образование конденсата зимой
Продолжительность 1440 ч

Снаружи:	$t_н$, °С	Относительная влажность снаружи, %:	$P_н$, Н/м^2
кровля	—10	80	208
стена	—10	80	208
Внутри:	$t_в$, °С	Относительная влажность внутри, %:	$P_в$, Н/м^2
кровля	+20	50	1169
стена	+20	50	1169

Высыхание летом
Продолжительность 2160 ч

Снаружи:	$t_н$, °С	Относительная влажность снаружи, %:	$P_в$, Н/м^2
кровля	+20	40	935
стена	+12	70	982
Внутри:	$t_в$, °С	Относительная влажность внутри, %:	$P_н$, Н/м^2
кровля	+12	70	982
стена	+12	70	982

Область применения. Приближенный расчет образования конденсата в сечении наружных ограждений жилых зданий. Приведенные климатические данные действительны для всей территории ФРГ без учета региональных особенностей.

Ниже приводится оценка количества выпадающего конденсата для способа сборного строительства.

1. Количество выпадающего в течение зимы конденсата $G_к$ не должно превышать 500 г на 1 м^2. В тепловых кровлях в зоне между слоем теплоизоляции и нижней стороной кровельного ковра это количество в течение зимы не должно превышать 10 г на 1 м^2.

2. Поскольку древесные материалы при образовании конденсата переувлажняются, количество выпадающего конденсата $G_к$ не должно превышать 3% массы древесины.

3. В конце зимы, несмотря на возможное повышение содержания влаги в конструкции в целом или в отдельном ее слое (в частности, слое теплоизоляции) в соответствии с дополнительными требованиями к DIN4108 (листок Министерства земли Северный Рейн—Вестфалия) конструкция должна обладать требуемой минимальной теплозащитной способностью (см. табл. 2).

4. Материалы, которые могут вступить в контакт с влагой, не должны вследствие этого получать повреждений. Металлы при опасности образования конденсата следует защищать от коррозии, **органические материалы** — от плесени, поражения грибком и т. д., **неорганические материалы** — от разложения или образования высолов.

5. Количество высыхающего летом конденсата $G_в$ должно быть больше количества конденсата, выпадающего зимой, $G_к$. Отношение $G_в$: $G_к > 1$.

Область применения. Приближенные расчеты образования конденсата в сечении наружных ограждающих конструкций жилых зданий.

нально принимать в расчет. Одним из возможных и наиболее правильных решений представляется принятие в качестве расчетных значений среднемесячных температур наружного воздуха, определяемых за многолетний период для соответствующих населенных пунктов.

Температуры внутреннего воздуха и его относительная влажность О. В.$_в$ могут быть приняты по табл. 3 приложения. Примеры использования этих положений в расчетах могут быть почерпнуты из литературы [118, 206, 207].

3. Расчет образования конденсата на поверхности. 3.1. Климатические условия. Как отмечалось, появление конденсата на поверхности из-за связанного с этим относительно большого количества влаги — весьма неприятное явление. Конденсат опасен и для облицовки стен, мебели и даже для здоровья проживающих (образование грибка!). Поэтому во всех случаях следует избегать образования конденсата. Это означает, что даже при наиболее низких температурах наружного воздуха $t_н$ конденсат появляться не должен. Таким образом, при определении возможного выпадения конденсата на поверхности принятие наиболее низких температур $t_н$ (табл. 10) достаточно обосновано.

Максимальная тщательность при определении размеров теплоизоляции становится необходимой в тех случаях, когда давление пара $P_в$ больше, чем должно быть обычно (влажные помещения). Поэтому особое внимание следует обращать на максимальную ожидаемую относительную влажность внутреннего воздуха. Следует также считаться с условиями работы в помещениях (табл. 3 приложения).

3.2. Оценка. В отдельных случаях необходимо проверять, выпадает конденсат на поверхности или нет. Если расчет показывает выпадение конденсата, то теплозащиту наружной конструкции нужно повышать до тех пор, пока конструкция не будет гарантирована от выпадения кон-

ТАБЛИЦА 10. ТЕМПЕРАТУРЫ НАРУЖНОГО $t_н$ И ВНУТРЕННЕГО $t_в$ ВОЗДУХА И ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЯ О. В.$_в$

Температура наружного воздуха	Район строительства по теплозащите
$t_н = -15°$ С $t_н = -20°$ С	I/II III
Температура внутреннего воздуха $t_в = +20°$ С	Всегда в жилых помещениях
Относительная влажность внутреннего воздуха О.В.$_в$ = 50%	То же

Область применения. 1. Проверка выпадения свободной конденсационной влаги на поверхности наружных ограждений жилых зданий. При использовании для других целей значения $t_в$ и О.В.$_в$ следует принимать по табл. 3 приложения.

2. Приведенные значения температур наружного воздуха — наиболее неблагоприятные зимние температуры в зависимости от местонахождения строительства. Географическое положение климатического (по теплозащите) района следует принимать по DIN4108, 1969 г. [321].

денсата на поверхности. Следует различать при этом выпадение конденсата в сечении и в углах наружных конструкций.

Появление конденсата на поверхности обусловлено теплоизолирующей способностью наружной конструкции. Поэтому для определенных климатических условий ($t_н$, $t_в$, О. В.$_в$) можно заранее принять требуемые сопротивления теплопередаче $1/\Lambda_{треб}$ наружной конструкции. При этом следует иметь в виду, что благодаря соблюдению минимальной теплозащиты можно избежать образования конденсата в сечении конструкции до значения относительной влажности внутреннего воздуха О. В.$_в$, равного 65%. Для более высоких влажностей воздуха и наружных углов дома может быть использована диаграмма, приведенная на рис. 31.

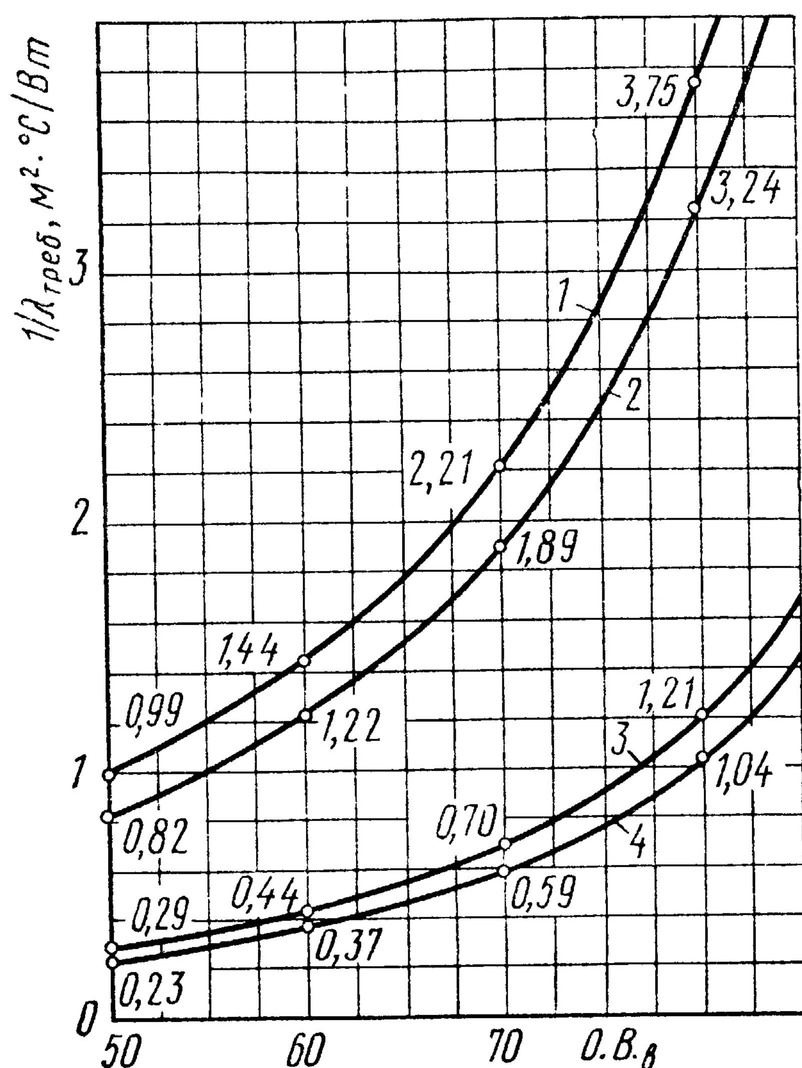


Рис. 31. Минимальные значения теплозащиты наружных ограждений для предотвращения выпадения конденсата на поверхности. Необходимые значения термического сопротивления $1/\Lambda_{треб}$ в зависимости от относительной влажности внутреннего воздуха О.В.$_в$

1 — во внутренних углах наружных стен, в III климатическом (по теплозащите) районе; *2* — во внутренних углах наружных стен, в I—II климатических (по теплозащите) районах; *3* — в наружных стенах, в III климатическом районе; *4* — в наружных стенах, в I—II климатических районах

Область применения: для наружных стен (поле стены и углы) при температуре внутреннего воздуха $t_в = +20°$ С. При иных климатических условиях $1/\Lambda_{треб}$ следует пересчитывать по формуле (38) или (39)

Проверку следует проводить для плоскости стены и для углов конструкций. Если угол двух наружных конструкций образован конструкциями с различной теплоизолирующей способностью, то для оценки принимается конструкция с меньшим термическим сопротивлением $1/\Lambda$.

Для температур помещения или относительных влажностей, находящихся вне областей, указанных на рис. 31, требуется расчет. Вначале определяют температуру внутренней поверхности $t_{в_0\,треб}$, которая требуется для того, чтобы предотвратить выпадение конденсата. Для этого заранее принимается, что температура внутреннего воздуха $t_в$ и его относительная влажность О. В.$_в$ известны. Тогда можно вычислить давление пара внутри помещения $P_в$ [по формуле (13)] Давление насыщения $P_{нв_0}$ должно быть при этом так велико, чтобы в наиболее неблагоприятном случае $P_{нв_0}$ стало равным $P_в$. По $P_{нв_0}$, равному $P_в$, можно определить соответствующую температуру $t_{в_0\,треб}$ (табл. 4 приложения). Тогда из диаграммы $1/k - t$ (рис. 11) следует:

для поля стены

$$1/\Lambda_{треб} = \frac{(t_{в\,треб} - t_н)}{(t_в - t_{в_0\,треб})}\, 1/\alpha_в - 1/\alpha_н; \qquad (38)$$

для наружных углов

$$1/\Lambda^{\text{г}}_{\text{треб}} = \frac{(t_{\text{в0 треб}} - t_{\text{н}})}{(t_{\text{в}} - t_{\text{в0 треб}})}\, 3(1\alpha_{\text{в}}). \qquad (39)$$

4. Примечания к требованиям разд. 1—3. Способы расчета выпадающего или допустимого количества конденсата до сих пор не были введены в нормы DIN; несмотря на это, способ, применяемый в сборном строительстве, представляет в настоящее время признанную всеми основу оценки этого явления при проектировании. Понятие «сборное строительство» содержит большие упрощения (особенно требование о том, чтобы результаты расчетов всегда обеспечивали требуемую надежность), которые не всегда могут быть согласованы. Это объясняется обобщенным характером внешних климатических условий.

Все большее число публикаций указывает на то, что в местностях с неблагоприятными внешними климатическими условиями результаты расчетов для «сборного строительства» могут оказываться чрезмерно оптимистичными [206, 207]. Это связано не столько с принятием наружной температуры $t_{\text{н}} = -10°$ С, сколько с ограничением зимнего периода переувлажнения лишь двумя месяцами. Точное установление продолжительности периода конденсации возможно лишь при учете среднемесячных температур. Если все-таки в расчетах по методу «сборного строительства» хотят обеспечить дополнительную надежность, в качестве внешних климатических условий следует принимать иную наружную температуру $t_{\text{н}}$. Для зимнего периода рекомендуется принимать наиболее низкие температуры по табл. 10. В этом случае вместо $t_{\text{н}} = -10°$ С подставляется $t_{\text{н}} = -15°$ С (для I/II климатических районов) или $t_{\text{н}} = -20°$ С (для III климатического района).

Здесь уместно отметить, что способ «сборное строительство» предписывает, что при высыхании крыш летом наружная температура $t_{\text{н}}$ является более высокой, чем внутренняя $t_{\text{в}}$. Вследствие этого следует обратить внимание на некоторые особенности, относящиеся к распределению давлений пара в диаграмме $1/\Delta - P$ (препятствующих высыханию), особенно при расчетах высыхания тепловых кровель с достаточной расчетной нижней пароизоляцией.

Способ «сборного строительства» пригоден в общем (исключения см. выше) с достаточной точностью в качестве способа определения параметров конструкций на стадии их проектирования. Способ, связанный с использованием среднемесячных значений, используют из-за его сложности лишь с целью проверки, например, возможных повреждений конструкций, так как в этом случае необходим как можно более точный анализ.

Приведенные здесь расчеты для проверки возможности выпадения конденсата на поверхности (особенно во внутренних углах конструкций наружных стен) приводят к сильно завышенным значениям требуемого минимального термического сопротивления $1/\Lambda_{\text{треб}}$. Если, однако, сравнить с этими требованиями порядок величин

$1/\Lambda_{треб}$ наружных конструкций, которые могут быть получены при введении в действие Постановления по теплозащите (повышенная теплозащита) [382], то становится очевидно, что приводимые здесь требуемые минимальные термические сопротивления являются величинами того же порядка. Это, видимо, случайность, так как при подготовке Постановления руководствовались другими соображениями. С другой стороны, следует приветствовать введение требований, которые служат сохранению гигиенически оптимального внутреннего климата, из чего бы они не исходили.

Это служит основой того, чтобы требуемые минимальные термические сопротивления $1/\Lambda_{треб}$ могли быть использованы как расчетные величины при теплотехническом проектировании наружных конструкций для предотвращения выпадения конденсата в углах (см. табл. 10).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

2, 4, 8, 9, 17, 18, 19, 22, 28, 29, 30, 31, 39, 53, 54, 57, 59, 60, 63, 66, 82, 88, 91, 92, 104, 118, 128, 129, 132, 135, 168, 172, 177, 179, 180, 181, 183, 194, 196, 204, 205, 206, 207, 209, 210, 215, 216, 219, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 236, 239, 241, 248, 251, 254, 255, 256, 258, 259, 260, 268, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 280, 281, 282, 283, 286, 287, 299, 301, 302, 307, 310, 321, 322, 323, 335, 338, 341, 342.

ПРИМЕРЫ

ПРОВЕРКА ОБРАЗОВАНИЯ КОНДЕНСАТА НА ПОВЕРХНОСТИ И ВНУТРИ НАРУЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Задание. Даны конструкции кровли и наружной стены жилого дома (рис. 32) во II климатическом (по теплозащите) районе (РТЗ II).

Конструкция кровли состоит (снаружи внутрь) из следующих слоев:

три слоя кровельной стеклоткани на битумной основе (d = 1 см), поверх которых уложена гравийная посыпка толщиной 5 см;

один слой перфорированной стеклоткани на битумной основе;

пенополистирол (экструдированный) на клею, 5 см;

один слой кровельного картона М500 (d = 0,3 см);

один слой перфорированной стеклоткани на битумной основе по предварительной обмазке;

железобетонная плита из бетона марки 250 толщиной 20 см.

Конструкция стены состоит из следующих слоев (снаружи внутрь):

бетон марки 250 (d = 7 см); пенополистирол (γ = 25 кг/м^3, d = =3 см); бетон марки 250 (d =15 см).

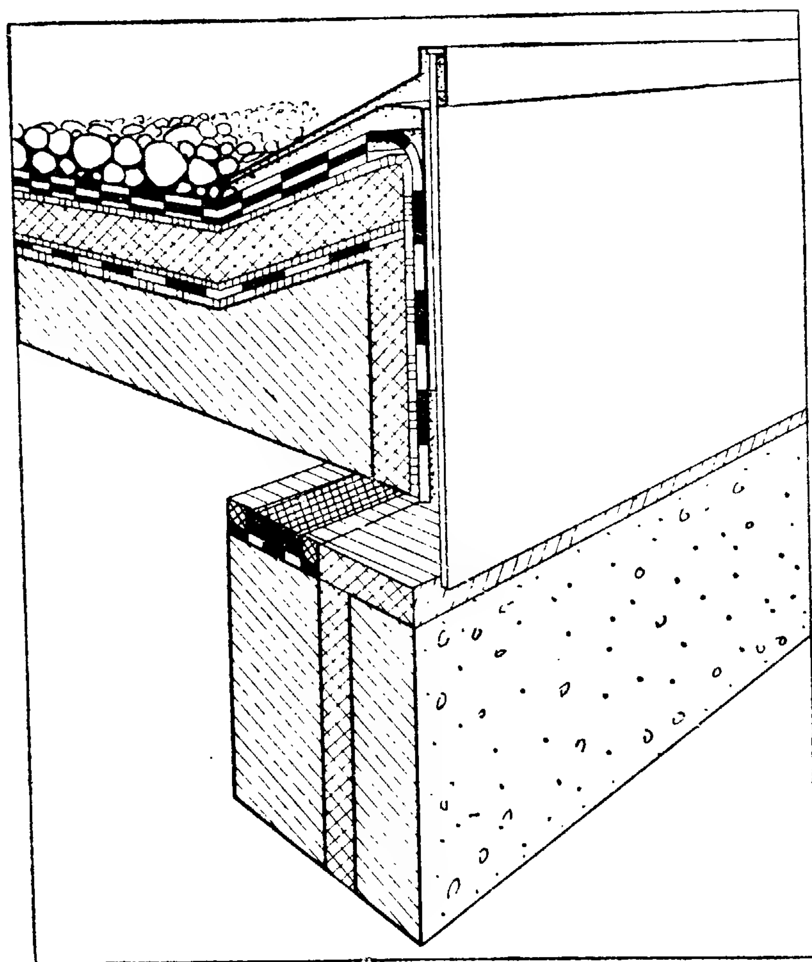


Рис. 32. Исходная ситуация для последующих расчетов

При необходимости требуется выполнить три расчета:

А. Проверка образования конденсата в сечении конструкции кровли.

В. Проверка образования конденсата в сечении конструкции стены.

С. Проверка образования конденсата на внутренней стороне наружных конструкций.

В данном случае проверка С проводится только в отношении сечения стены или угла наружной стены, так как стена по сравнению с кровлей утеплена хуже.

А. Образование конденсата в сечении конструкции кровли

1. Распределение температур

Условия и материалы	λ, Вт/(м · °С)	d/λ, м² · °С/Вт	Примечание
Сопротивление теплоотдаче снаружи	—	$1/\alpha_н = 0,04$	$1/\alpha_н$ — см. табл. 2 приложения
Последовательность слоев:			
три слоя стеклоткани, $d = 1$ см	—	—[1])	λ — см. табл. 1 приложения
перфорированная стеклоткань на битумной основе	—	—[1])	[1]) — см. комментарий, п. А4
пенополистирол, $d = 5$ см	0,04	$d_3/\lambda_3 = 1,25$	
один слой кровельного картона марки 500, $d = 0,3$ см	—	—[1])	
перфорированная стеклоткань на битумной основе	—	—[1])	
несущее перекрытие, бетон марки 250, $d = 20$ см	2,03	$d_6/\lambda_6 = 0,1$	
Сопротивление тепловосприятию (внутри зимой)		$1/\alpha_в = 0,12$	
Сопротивление тепловосприятию (внутри летом)		$\left[\frac{1}{\alpha_в} = 0,17\right]$	
		Зимой: $\frac{1}{k} = 1,51$	
		$\left[\text{Летом: } \frac{1}{k} = 1,56\right]$	
		$\frac{1}{\Lambda} = 1,35$	

Климатические условия

Зима:	Лето:	
$t_н = -10$ °С	$t_н = +20$ °С	См. табл. 9
$t_в = +20$ °С	$t_в = +12$ °С	

Температуры на границах слоев (рис. 33)

$t_{n/m}$, °C	$t_{n/m}$, °C
Зима:	Лето:
$t_н = -10$	$t_н = +20$
$t_{н_0} = -9,2$	$t_{н_0} = +19,8$
$t_{1/2} = -9,2$	$t_{1/2} = +19,8$
$t_{2/3} = -9,2$	$t_{2/3} = +19,8$
$t_{3/4} = +15,6$	$t_{3/4} = +13,4$
$t_{4/5} = +15,6$	$t_{4/5} = +13,4$
$t_{5/6} = +15,6$	$t_{5/6} = +13,4$
$t_{в_0} = +17,6$	$t_{в_0} = +12,9$
$t_в = +20$	$t_в = +12$

2. *Определение давления пара*

Условия и материалы	μ	$1/\Delta$, $\frac{м^2 \cdot ч \cdot Н/м^2}{кг}$	Примечание
Последовательность слоев:			
три слоя стеклоткани на битумной основе, $d=1$ см	70 000	$1120 \cdot 10^6$	μ—см. табл. 1 приложения; $1/\Delta = \mu\, d \cdot 1,6 \cdot 10^6$
перфорированная стеклоткань на битумной основе	—	—[2]	
пенополистирол, $d=5$ см	40	$3,2 \cdot 10^6$	[2]—см. комментарий, п. А4

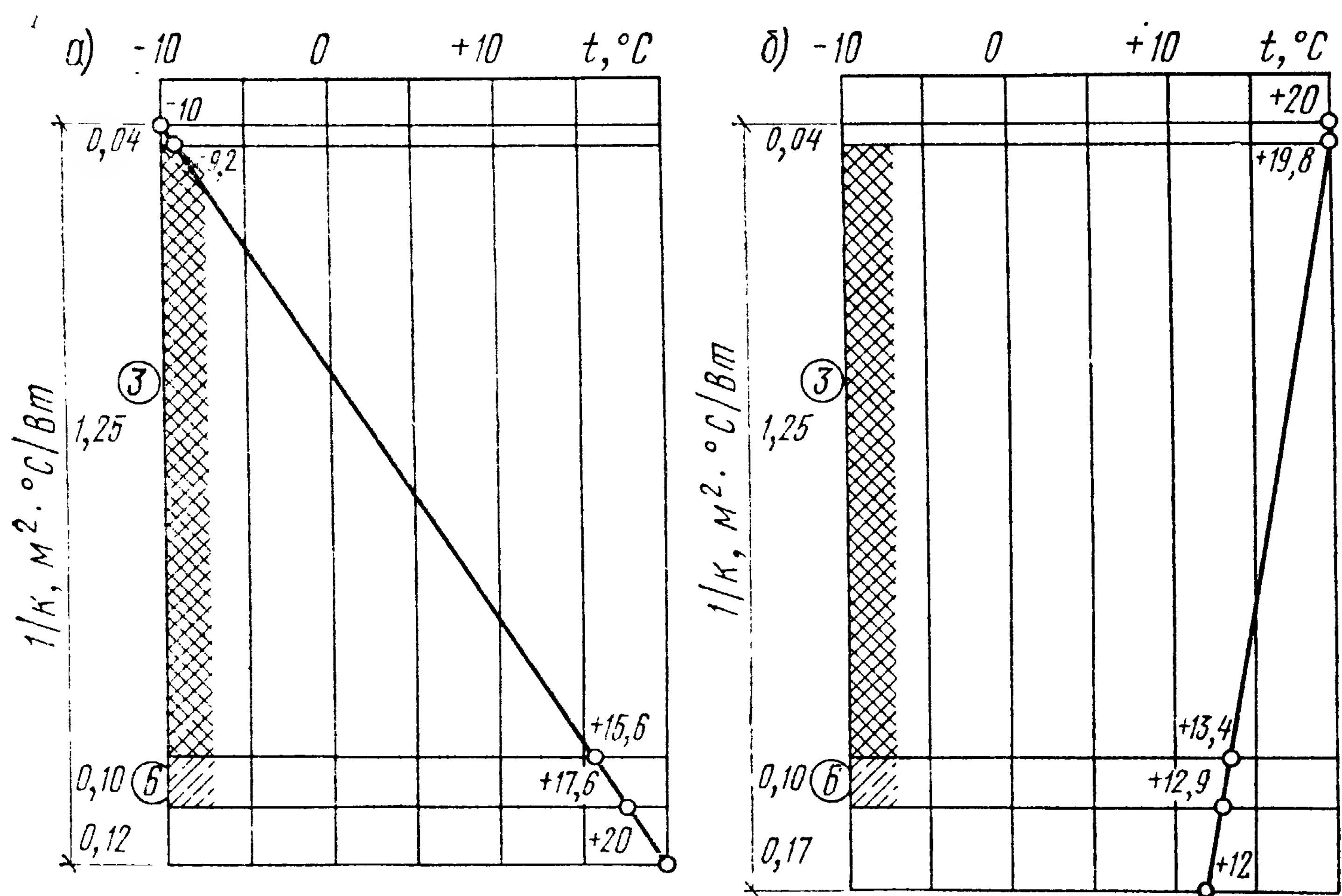


Рис. 33. Сечение кровли. Температуры на границах слоев зимой (*а*) и летом (*б*) (диаграмма $1/k - t$)

Условия и материалы	μ	$1/\Lambda$, $\frac{м^2 \cdot ч \cdot Н/м^2}{кг}$	Примечание
один слой кровельного картона марки 500, $d=0{,}3$ см	50 000	$240 \cdot 10^6$	
перфорированная стеклоткань на битумной основе	—	—[2])	
Несущее перекрытие, бетон марки 250, $d=20$ см	50	$16 \cdot 10^6$	

Климатические условия

Зима:	Лето:	
$P_{нар}=208$ Н/м²	$P_{нар}=935$ Н/м²	См. табл. 9
$P_{в}=1169$ Н/м²	$P_{в}=982$ Н/м²	
Продолжительность 1440 ч	Продолжительность 2160 ч	

Давление насыщенных паров на границах слоев (рис. 34)

Зима:	Лето:	
$P_{н_{n/m}}$, Н/м²	$P_{н_{n/m}}$, Н/м²	См. табл. 4 приложения и п. А1
$P_{н_{нар}}=260$	$P_{н_{нар}}=2338$	
$P_{н_{нар_0}}=279$	$P_{н_{нар_0}}=2309$	
$P_{н_{1/2}}=279$	$P_{н_{1/2}}=2309$	
$P_{н_{2/3}}=279$	$P_{н_{2/3}}=2309$	
$P_{н_{3/4}}=1772$	$P_{н_{3/4}}=1537$	
$P_{н_{4/5}}=1772$	$P_{н_{4/5}}=1537$	
$P_{н_{5/6}}=1772$	$P_{н_{5/6}}=1537$	
$P_{н_{в_0}}=2013$	$P_{н_{в_0}}=1487$	
$P_{н_{в}}=2338$	$P_{н_{в}}=1403$	

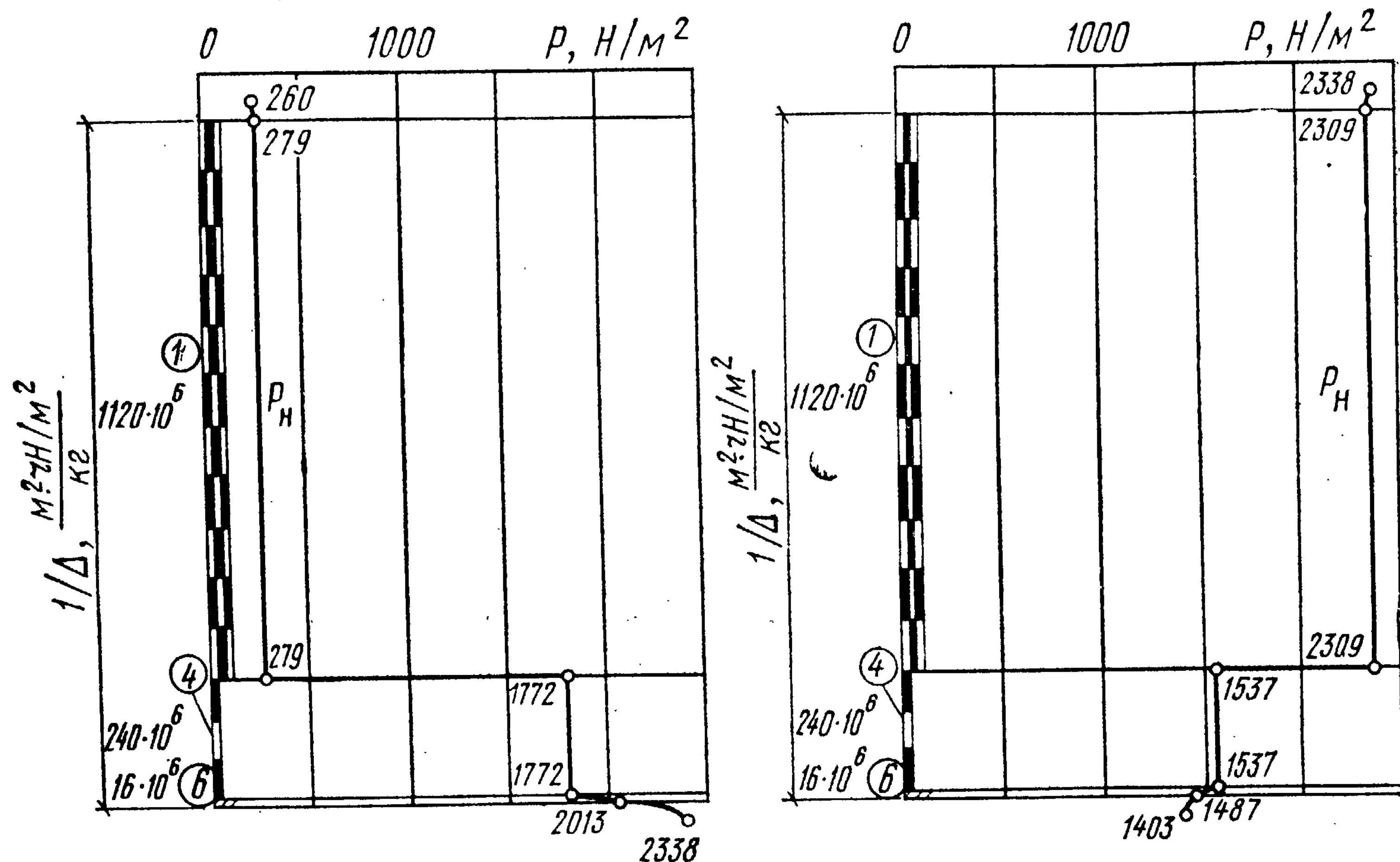


Рис. 34. Сечение кровли. Давление насыщенных паров зимой и летом (диаграмма 1/Δ—P)

Распределение давлений пара зимой (рис. 35, а). См. п. А2.

Проверка образования конденсата. Зимой конденсат выпадает на границе первого и второго слоев, т. е. на нижней стороне кровельного ковра. Поэтому должна быть исследована конструкция кровли.

Распределение давлений пара летом (рис. 35, *б*). См. п. А2, комментарий, п. А4.

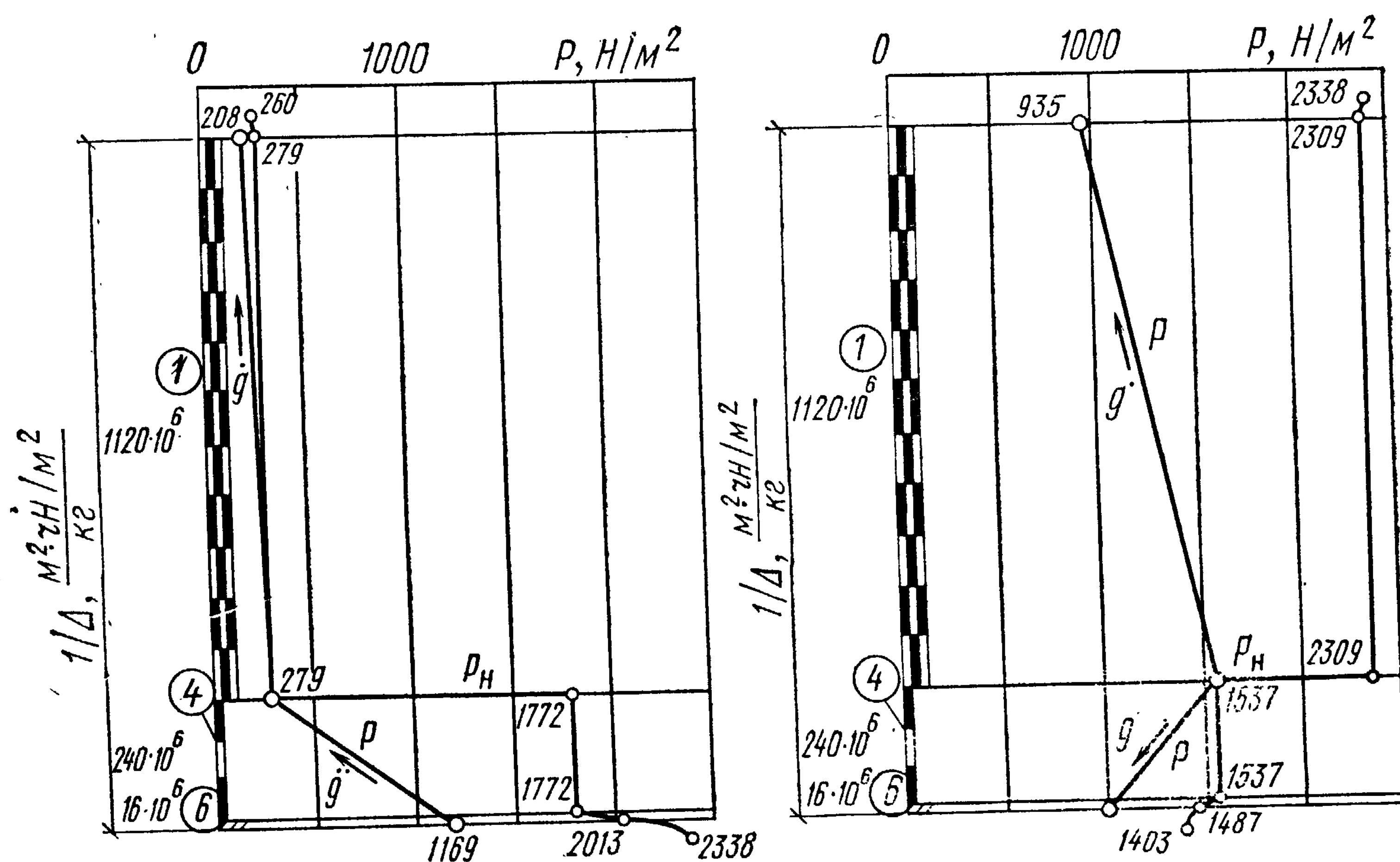


Рис. 35. Сечение кровли. Распределение давлений пара зимой и летом (диаграмма 1/Δ—P)

3. Количество выпадающего и высыхающего конденсата $G_к$ или $G_в$

Зима:	Лето:	
Количество конденсата, выпадающего в течение 1 ч:	Количество конденсата, высыхающего в течение 1 ч:	
$g_к = g'' - g'$;	$g_в = g'' + g'$;	
$g_к = \frac{1169-279}{259{,}2 \cdot 10^6} - \frac{279-208}{1120 \cdot 10^6}$;	$g_в = \frac{1537-982}{246 \cdot 10^6} + \frac{1537-935}{1123{,}2 \cdot 10^6}$ 4;	Все расчетные значения приняты по рис. 35
$g_к = 3{,}43 \cdot 10^{-6}$ кг/(м²·ч)	$g_в = 2{,}7 \cdot 10^{-6}$ кг/(м²·ч)	$g_в$—см. комментарий, п. А4
Количество конденсата, выпадающего зимой:	Количество конденсата, высыхающего летом:	
$G_к = 3{,}4 \cdot 10^{-6} \cdot 1440$ ч;	$G_т = 2{,}7 \cdot 10^{-6} \cdot 2160$ ч	См. п. А2
$G_к = 4{,}9 \cdot 10^{-3}$ кг/м²	$G_т = 5{,}8 \cdot 10^{-3}$ кг/м²	

Оценка количества выпадающего конденсата

Должно быть:	Фактически:	
а) $G_{к_{макс}} = 10 \cdot 10^{-3}$ кг/м²;	$G_к = 4{,}9 \cdot 10^{-3}$ кг/м²;	Требование 1
б) $G_{к_{макс}} = 3\%$ по массе (при наличии древесных материалов в конструкции кровли)	Древесные материалы в конструкции кровли отсутствуют;	» 2
в) $1/\Lambda_{факт}$ — должно быть сохранено;	Теплоизоляция из пенополистирола; высота всасывания 0 см; теплозащитная способность влияния не оказывает;	» 3 Табл. 7
г) защита от влаги	Верхний выравнивающий слой имеется:	Требование 4
д) $G_в : G_к \geq 1$	$G_в : G_к = 1{,}18$	» 5

4. Комментарий

к 1): пленки, выравнивающие слои, а также гравийные посыпки в расчет теплоизоляции не включаются;

к 2): выравнивающий слой является практически паропроницаемым;

к 3): в диаграмме $1/\Delta$ — P показано высыхание при наличии препятствия. Кривая давлений пара в слое теплоизоляции благодаря распределению давлений насыщенного пара отклоняется вниз. В качестве препятствия для проникновения влаги внутрь диффузионного потока определенной плотности g'' могут быть учтены лишь элементы конструкции, находящиеся с нижней стороны теплоизоляционного слоя;

к 4): высыхание с препятствием принимается во внимание при расчете g'' и g'.

Рассматриваемая конструкция является классической теплой кровлей с достаточной расчетной пароизоляцией (μd = 150 м). Повреждений конструкции кровли из-за образования конденсата в сечении при надлежащем выпол-

нении опасаться не следует, поскольку выполнены все проверки (п. 3). Верхний выравнивающий слой служит защитой от влаги тогда, когда он может компенсировать возможное избыточное давление пара, возникающее из-за выпадения конденсата.

В. Образование конденсата в сечении конструкции стены

1. *Определение температур*

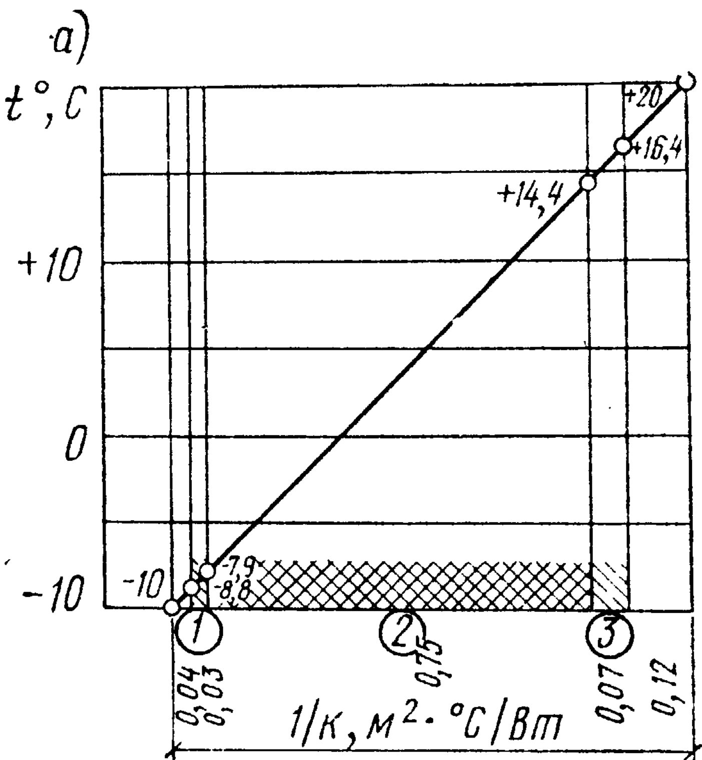
Условия и материалы	λ, Вт/(м × °С)	d/λ, м²·°С/Вт	Примечание
Сопротивление теплопередаче	—	$1/\alpha_н = 0{,}04$	$1/\alpha$ — см. табл. 2 приложения
Последовательность слоев:			
бетон марки 250, $d = 7$ см	2,03	$d_1/\lambda_1 = 0{,}03$	λ — см. табл. 1 приложения
пенополиуретан, $d = 3$ см	0,04	$d_2/\lambda_2 = 0{,}75$	
бетон марки 250, $d = 15$ см	2,03	$d_3/\lambda_3 = 0{,}07$	
Сопротивление тепловосприятию	—	$1/\alpha_в = 0{,}12$	
		$1/k = 1{,}01$	
		$1/\Lambda = 0{,}85$	

Климатические условия

Зима:	Лето:
$t_н = -10$ °С;	$t_н = +12$ °С;
$t_в = +20$ °С;	$t_в = +20$ °С.

Температуры на границах слоев (рис. 36)

Зима:	Лето:
$t_{n/m}$, °С	$t_{n/m}$, °С
$t_н = -10$	$t_н = +12$
$t_{н_0} = -8{,}8$	$t_{н_0} = +12$
$t_{1/2} = -7{,}9$	$t_{1/2} = +12$
$t_{2/3} = +14{,}4$	$t_{2/3} = +12$
$t_{в_0} = +16{,}4$	$t_{в_0} = +12$
$t_в = +20$	$t_в = +12$



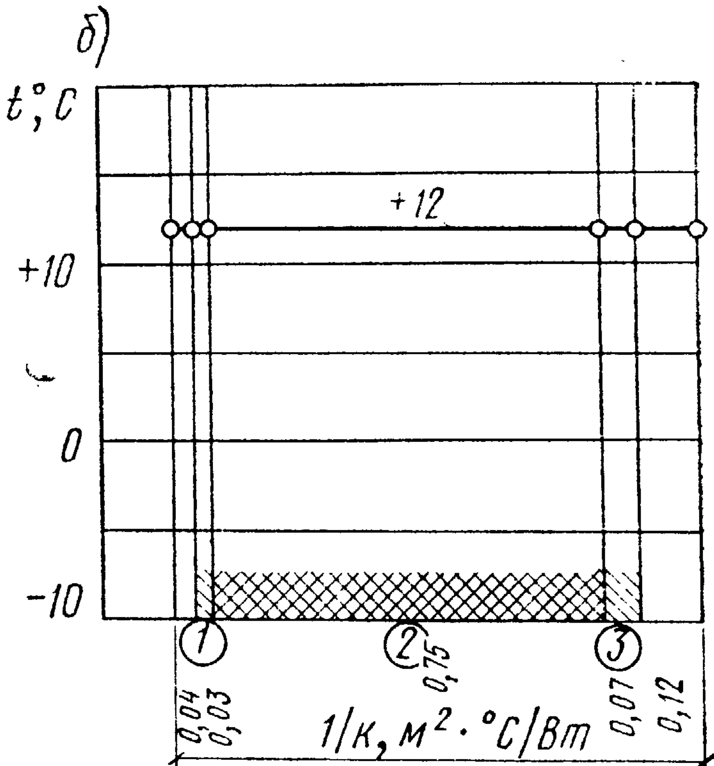
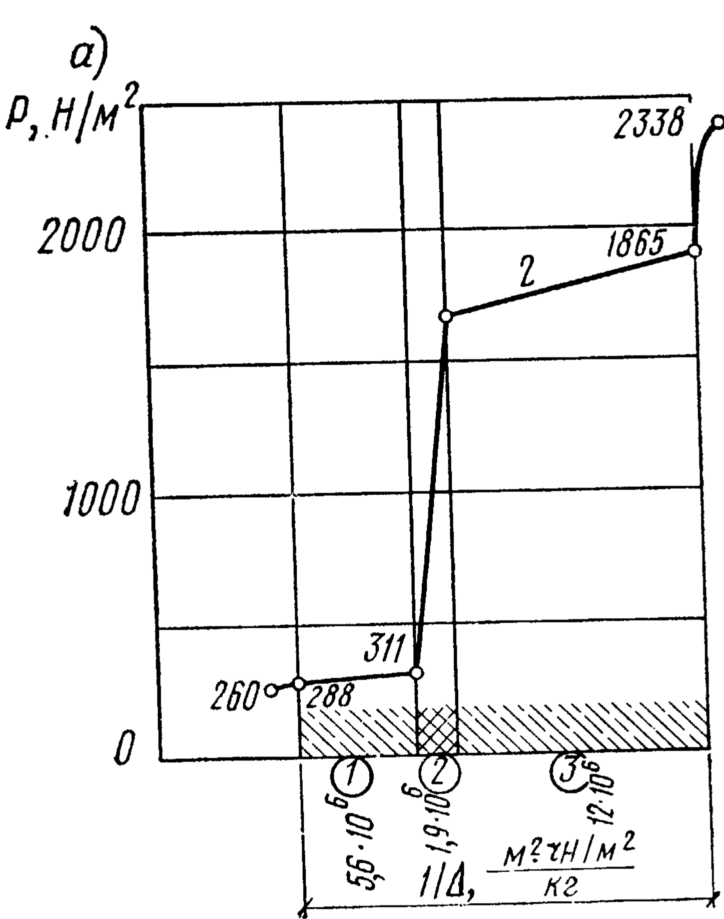


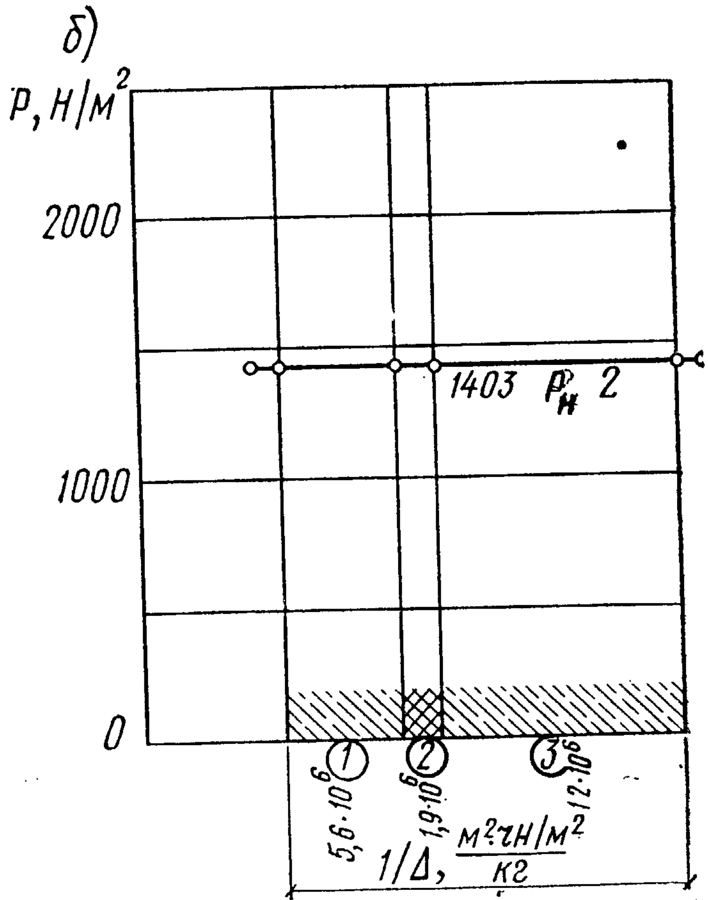
Рис. 36. Сечение стены. Температуры на границе слоев зимой (*а*) и летом (*б*) (диаграмма $1/k - t$).

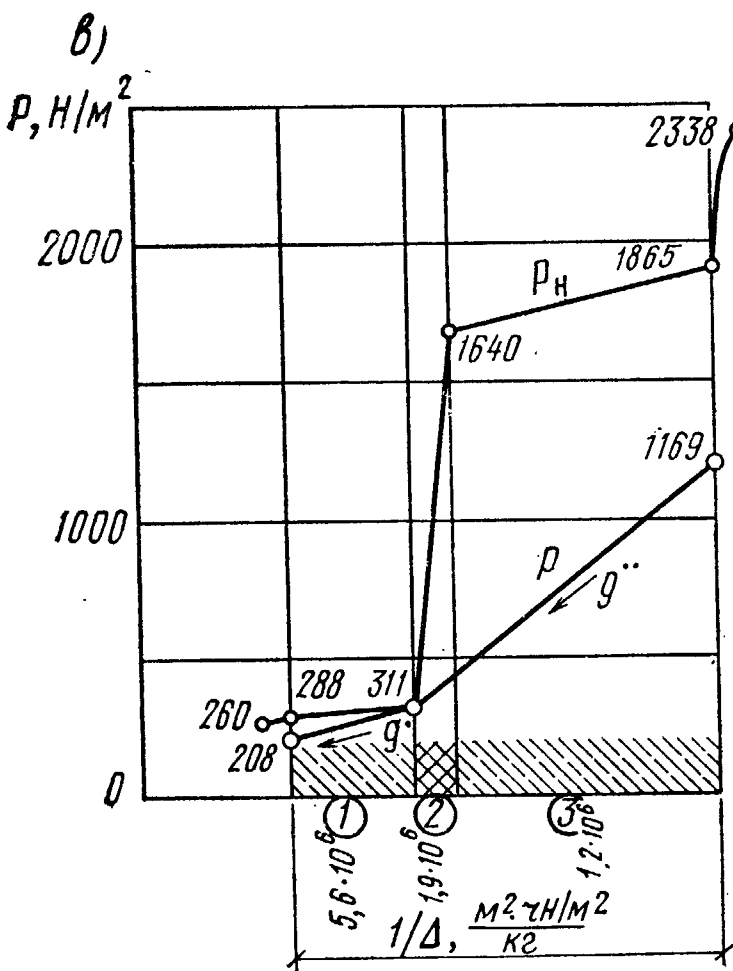
Продолжение

2. *Определение давлений пара*

Условия и материалы	μ	$1/\Delta$, $\frac{м^2 \cdot ч \cdot Н/м^2}{кг}$	Примечание
Последовательность слоев:			
бетон марки 250, $d=7$ см	50	$5{,}6 \cdot 10^6$	μ — см. табл. 1 приложения $1/\Delta = \mu\, d \cdot 1{,}6 \cdot 10^6$
пенополиуретан, $d=3$ см	40	$1{,}9 \cdot 10^6$	
бетон марки 250, $d=15$ см	50	$12 \cdot 10^6$	







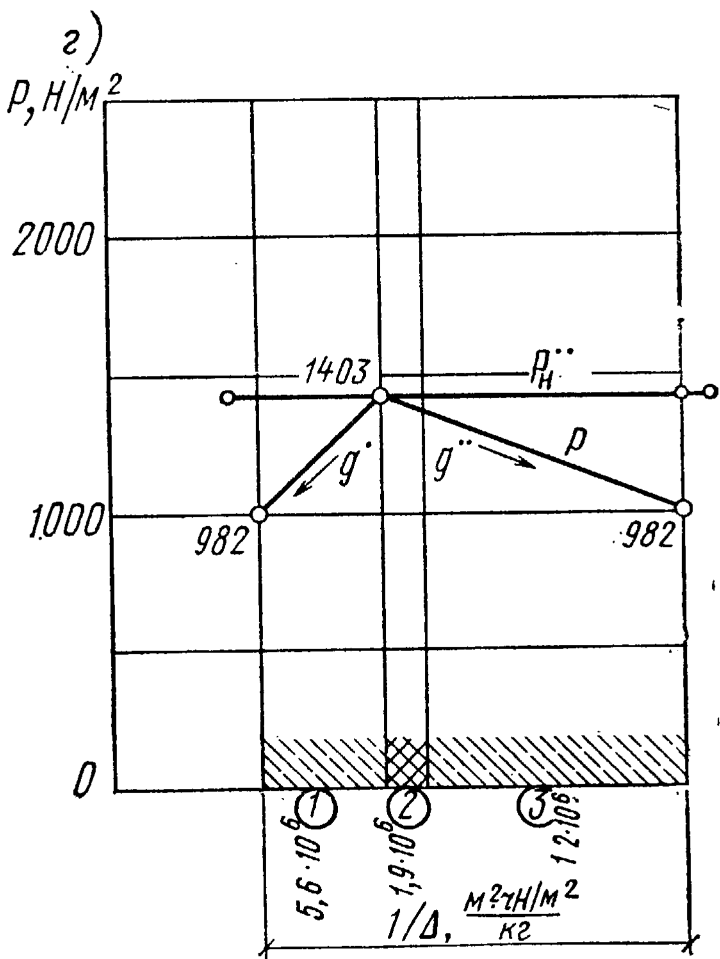


Рис. 37. Сечение стены. Давления насыщенного пара зимой (*а*) и летом (*б*) (диаграмма $1/\Delta - P$). Распределение давлений пара зимой (*в*) и летом (*г*) (диаграмма $1/\Delta - P$)

Климатические условия Зима: $P_{нар}=208$ Н/м²; $P_в=1169$ Н/м². Продолжительность 1440 ч Лето: $P_{нар}=982$ Н/м²; $P_в=982$ Н/м². Продолжительность 2160 ч	См. табл. 9
Давление насыщенного пара на границах слоев (рис. 37, *а, б*) $P_{н n/m}$, Н/м² Зима: $P_{н_{нар}}=260$; $P_{н_{нар_0}}=288$; $P_{н^1/_2}=311$; $P_{н^2/_3}=1640$; $P_{н_{в_0}}=1865$; $P_{н_в}=2338$ Лето: $P_{н_{нар}}=1403$; $P_{н_{нар_0}}=1403$; $P_{н^1/_2}=1403$; $P_{н^2/_3}=1403$; $P_{н_{в_0}}=1403$; $P_{н_в}=1403$	См. табл. 4 приложения и п. В1
Распределение давлений пара зимой (рис. 37, *в*) *Проверка образования конденсата* Зимой конденсат выпадает на границе первого и второго слоев, т. е. между наружным бетонным слоем и слоем теплоизоляции. Конструкцию стены необходимо исследовать далее.	См. п. В2
Распределение давлений пара летом (рис. 37, *в, г*)	
3. Расчет и оценка количества выпадающей и высыхающей влаги *Количество выпадающего $G_к$ и высыхающего $G_в$ конденсата*	См. п. В2
Зима: Количество конденсата, выпадающего в течение 1 ч: $g_к=g''-g'$; $g_к=\frac{1169-311}{13,9\cdot 10^6}-\frac{311-208}{5,6\cdot 10^6}$; $g_к=43,33\cdot 10^{-6}$ кг/(м²·ч) Лето: Количество конденсата, высыхающего в течение 1 ч: $g_в=g''+g'$; $g_в=\frac{1403-982}{13,9\cdot 10^6}+\frac{1403-982}{5,6\cdot 10^6}$; $g_в=105,47\cdot 10^{-6}$ кг/(м²·ч)	Все расчетные величины см. п. В2
Количество конденсата, выпадающего в течение зимы: $G_к=43,3\cdot 10^{-6}\cdot 1440$ ч; $G_к=62,4\cdot 10^{-3}$ кг/м² Количество конденсата, высыхающего в течение лета: $G_в=105,5\cdot 10^{-6}\cdot 2160$ ч; $G_в=227,9\cdot 10^{-3}$ кг/м²	См. п. В2

Оценка количества выпадающего конденсата

Должно быть:	Фактически:	
а) $G_{к_{макс}}=500\cdot10^{-3}$ кг/м²	$G_{к_{факт}}=62{,}4\cdot10^{-3}$ кг/м²	Требование 1
б) $G_{к_{макс}}=3\%$ по массе при наличии древесных материалов в конструкции кровли	Древесные материалы в конструкции кровли отсутствуют	» 2
в) $1/\Lambda_{треб}$ должно быть сохранено	$1/\Lambda_{сух}=0{,}85$ м²·°С/Вт	» 3
	Изменение $1/\Lambda_{сух}$ из-за образования конденсата в слое утеплителя:	$1/\Lambda$ из п. В1
	Переувлажненный слой: Пенополиуретан 3 см; Высота всасывания >1 см; $\gamma=25$ кг/м³; $M=0{,}75$ кг/м²	См. табл. 7 и 1 приложения
	$U_{мас}=G_к:M\cdot100\%$ $U_{мас}=62{,}4\cdot10^{-3}:0{,}75\cdot100$ $U_{мас}=8{,}3\%$	См. формулу (32) $G_к$—см. п. В3
	$\lambda_{вл}=\lambda_{сух}\left(1+\frac{U_{мас}Z}{100}\right)$, Вт/(м·°С)	Формула (34) Z—см. табл. 8
	$\lambda_{вл}=0{,}04\left(1+\frac{8{,}3\cdot2}{100}\right)$ $\lambda_{вн}=0{,}05$ Вт/(м·°С);	$\lambda_{сух}$—см. п. В1
Стена во II климатическом районе: $1/\Lambda_{треб}=0{,}47$ м²·°С/Вт	$\frac{1}{\Lambda_{вл}}=\frac{d_1}{\lambda_1}+\frac{d_2}{\lambda_{вл}}+\frac{d_3}{\lambda_3}$; $\frac{1}{\Lambda_{вл}}=0{,}03+\frac{0{,}03}{0{,}05}+0{,}07$; $1/\Lambda_{вл}=0{,}7$ м²·°С/Вт	См. п. В1
г) Защита от влаги	Металлические связи между несущим и облицовочным слоем должны быть защищены от коррозии	Требование 4
д) $G_в:G_к>1$	$G_в:G_к=3{,}65$	» 5

4. Комментарий к результатам

Опасаться образования конденсата в значительных объемах нет оснований. Максимально допустимое количество влаги не достигается, минимальная теплозащита гарантируется и количество высыхающей влаги существенно превышает количество образующегося конденсата. Важнейшим конструктивным результатом этого расчета является установление факта переувлажнения в некоторых случаях слоя теплоизоляции из пенополиуретана. Поэтому проходящие через слой стальные связи между несущим и облицовочным слоями должны быть защищены от коррозии.

После расчета становится очевидным основное различие между конструкцией стены и теплой кровли: хотя проходящие через конструкцию стены кол-

чество влаги существенно больше, чем для кровли, но отношение $G_В$: $G_К$ для стен намного благоприятнее. Имеющиеся в теплой кровле паронепроницаемые слои препятствуют образованию конденсата, но почти также сильно они препятствуют высыханию. Этим и объясняется относительное отсутствие для наружных стен проблем, связанных с диффузией пара.

С. Образование конденсата на внутренних поверхностях наружных стен и перекрытий

1. Фактическая теплозащита $1/\Lambda_{факт}$

Материалы	λ, Вт/(м×°С)	d/λ, м²·°С/Вт	Примечание
Последовательность слоев:			
бетон марки 250, $d=7$ см	2,03	0,03	
пенополиуретан, $d=3$ см	0,04	0,75	
бетон марки 250, $d=15$ см	2,03	0,07	
		$1/\Lambda_{факт}=0,85$	

2. Требуемая теплозащита $1/\Lambda$ поля стены и в углах

Климатические условия:

Условия микроклимата жилища:	$t_в=+20$ °С; О. В.$_в$=50%; $P_в=1169$ Н/м²	P в зависимости от t и О. В
Местонахождение здания — II климатический (по теплозащите) район $t_н=-15$ °С		См. табл. 9

Необходимая температура внутренней поверхности $t_{в0}$

Конденсат выпадает, если	$P_{н_{в_0}}<P_в$	См. п. С2 климатические условия. $P_н$ — см. табл. 4 приложения
Поэтому должно быть	$P_{н_{в_0}}\geqslant 1169$ Н/м²	
Отсюда следует, что	$t_{в_0}\geqslant 9,3$ °С	

Требуемое сопротивление теплопередачи $1/\lambda_{треб}$

Поле стены:

$$\frac{1}{\Lambda_{треб}}=\frac{(t_{в_{0треб}}-t_н)}{(t_в-t_{в_{0треб}})}\times\frac{1}{\alpha_в}-\frac{1}{\alpha_н}$$

$$\frac{1}{\Lambda_{треб}}=\frac{(9,3+15)}{(20-9,3)}\times 0,12-0,04$$

$$\frac{1}{\Lambda_{треб}}=0,23\ м^2\cdot °С/Вт$$

Углы:

$$\frac{1}{\Lambda^г_{треб}}\ \frac{(t_{в_{0треб}}-t_н)}{t_в-t_{в_{0треб}}}\times 3\frac{1}{\alpha_в}$$

$$\frac{1}{\Lambda^г_{треб}}=\frac{(9,3+15)}{(20-9,3)}\ 0,36$$

$$\frac{1}{\Lambda^г_{треб}}=0,82\ м^2\cdot °С/Вт$$

Примечания: См. п. С2 и табл. 2 приложения. См. формулы (38) и (39)

Продолжение

Сравнение $1/\Lambda_{треб}$ *и* $1/\Lambda_{факт}$		
Должно быть: Поле стены: $1/\Lambda_{треб} = 0{,}23$ м²·°С/Вт	Фактически: $1/\Lambda_{факт} = 0{,}85$ м²·°С/Вт	$1/\Lambda_{факт} = \sum \frac{d}{\lambda}$ — см. п. В2
Наружные углы: $1/\Lambda^{г}_{тр} = 0{,}82$ м²·°С/Вт	$1/\Lambda^{г}_{факт} = 0{,}85$ м²·°С/Вт	

Комментарий

При расчете образования конденсата на поверхности в рассмотренном примере сознательно выбрана наружная стена, так как ее термическое сопротивление $1/\lambda$ меньше, чем термическое сопротивление кровельного покрытия.

Расчет показал, что теплоизоляции наружной стены в наружных углах едва хватает, чтобы предотвратить образование конденсата на поверхности. Предыдущий расчет выполнен для температуры воздуха в помещении $t_в = 20°$ С и относительной влажности воздуха О.В.$_в$, равной 50%. При неблагоприятных условиях микроклимата, т. е. повышенных внутренней температуре или относительной влажности внутри (влажные помещения), в наружных углах выступает конденсат: в рассмотренном примере при $t_в = 20°$ С и около 51% О.В.

Определенное предрасположение конструкции стены к образованию конденсата в наружных углах объясняется также тем, что в период зимнего увлажнения теплоизоляция наружной стены и по расчету не предотвращает выпадения конденсата на поверхности в углах. $1/\Lambda$ составляет при этом 0,7 м²·° С/Вт вместо требуемых 0,82 м²·° С/Вт. Это обстоятельство не следует переоценивать при рассмотрении относительной неточности способа «сборное строительство». Рекомендуется повышение теплозащиты примерно до 1,24 м²·° С/Вт.

В приведенном примере показано определение размеров теплозащиты, т. е. процесса проектирования конструкции, причем имеющееся сопротивление теплопередаче было сопоставлено с требуемым сопротивлением теплопередаче (стен и угла). В качестве альтернативы можно дополнительно проанализировать сечение конструкции, в которой следует определить температуру на внутренней поверхности $t_{в_0}$ и соответствующее ей давление насыщенного пара $P_{н_{в_0}}$ сравнить с давлением пара внутри $P_в$. Если $P_в > P_{н_{в_0}}$, то выпадает конденсат.

Третья возможность проверки состоит в том, что требуемое сопротивление теплопередаче принимается по рис. 31, поскольку речь идет о жилом помещении.

ДЕФОРМАЦИИ

ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Предотвращение деформаций конструкций. Многие виды деформаций строительных конструкций достаточно серьезны и могут, если их нельзя предотвратить, привести к повреждениям.

Первое задание на проектирование состоит в определении общего удлинения стены или кровельного покрытия, которое складывается из теплового и усадочного удлинений, причем следует обратить внимание на два важных обстоятельства: тепловые удлинения представляют собой длительные возвратно-поступательные движения,

а усадка проявляется однократно и через определенный промежуток времени прекращает свое действие; происходящее вследствие нагрева изменение длины при известных условиях может быть уменьшено за счет усадочных перемещений. Таким образом, необходимо раздельно определить оба вида деформаций и раздельно вычислить общую деформацию отрезка конструкции для летних и зимних условий.

Тесно связана с определением тепловых и усадочных удлинений задача, которая заключается в определении разности удлинений конструктивно связанных один с другим элементов (например между стеной и покрытием). Важно проверять также устройство слоев (например, наружной или внутренней изоляции) в отношении возможных максимальных разностей температур в конструкции (см. рис. 44).

Второе проектное задание, которое находится в тесной связи с первым, состоит в расчете перекоса вертикальных конструкций из-за изменений длины горизонтальных конструкций. Наиболее известный случай — определение угла поворота между опорой плиты покрытия и лежащими ниже стенами.

Третье проектное задание — определение допустимого прогиба покрытий (при установке ненесущих перегородок) (см. раздел «Основные положения»). Отметим, что в неблагоприятных случаях постоянное образование трещин в структуре ненесущих перегородок возможно также при допустимых значениях прогибов или изгиба и что после прекращения ожидаемых деформаций перекрытий трещины можно заделать с небольшой затратой средств. Это может быть экономичнее, чем слишком большие первоначальные капитальные затраты.

Четвертое проектное задание включает определение разной величины усадки несущих внутренних и наружных стен, выполненных из различных материалов (см. раздел «Основные положения»). Это задание не приведено здесь в качестве примера, но оно легко решается с учетом рекомендаций, изложенных в основных положениях.

Пятым проектным заданием является определение расстояния между температурными швами экранированных или облицованных наружных конструкций. Здесь также следует определить общее удлинение отдельных конструкций, абсолютные изменения их длины и вычислить расстояние между швами. Это задание также можно решить с использованием рекомендаций, изложенных в основных положениях (см. табл. 12 и список литературы в конце раздела).

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Понятия и основные величины. Деформации могут быть в принципе разделены на зависимые от нагрузки, которые вызваны нагружением конструкций или их элементов, и независимые от нагрузки, которые возникают без воздействия нагрузки. В резуль-

тате изменяется строительный объем практически во всех трех измерениях. Так как речь идет не вообще о строительстве, а лишь о конструкциях плоской или стержневой формы, то во многих случаях достаточно определить деформации только в одном или двух направлениях.

Мерой деформации является удлинение $\varepsilon = \Delta L/L$ (мм/м), причем ΔL — изменение длины рассчитываемой конструкции, а L — его первоначальная длина. Понятие удлинение включает в себя как собственно удлинение, так и укорочение конструкции, поэтому употребляется с соответствующим знаком, причем «+» обозначает удлинение, а «—» — укорочение.

Встречающиеся в строительстве удлинения делятся на упругие удлинения $\varepsilon_у$ (мм/м), удлинения, связанные с ползучестью $\varepsilon_п$ (мм/м), тепловые удлинения $\varepsilon_т$ (мм/м) и удлинения от усадки $\varepsilon_{ус}$ (мм/м). Далее речь пойдет исключительно о тепловом $\varepsilon_т$ и усадочном $\varepsilon_{ус}$ удлинениях.

Тепловое удлинение $\varepsilon_т$ — независимая от нагрузки деформация, которая конструкция испытывает в результате перепада температуры Δt. Для расчета теплового удлинения используется коэффициент теплового расширения $\alpha_т$ [мм/ (м · °С)], который

ТАБЛИЦА 11. ЗНАЧЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ НЕКОТОРЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО DIN 1053 И 1045 [318, 319]

Материал	Коэффициент температурного расширения $\alpha_т$, мм/(м · °С)	Конечная величина усадки $\varepsilon_{ус. к}$ мм/м	
Металлы:			
свинец	0,029	—	
алюминий	0,023	—	
латунь, цинк	0,018	—	
медь	0,017	—	
сталь	0,011	—	
Каменная кладка:			
кладочный кирпич	0,006	∓0,0...—0,1	
силикатный кирпич и газобетон	0,008	—0,2	
легкобетонные камни	0,01	—0,2	
бетон на натуральной пемзе	0,01	—0,6	
Железобетон:		Консистенция K_1 и K_2	Консистенция K
твердение:			
в воде	0,01	∓0,0	∓0,0
во влажном воздухе	0,01	—0,1	—0,15
в свободном состоянии	0,01	—0,25	—0,37
во внутреннем помещении	0,01	—0,4	—0,6

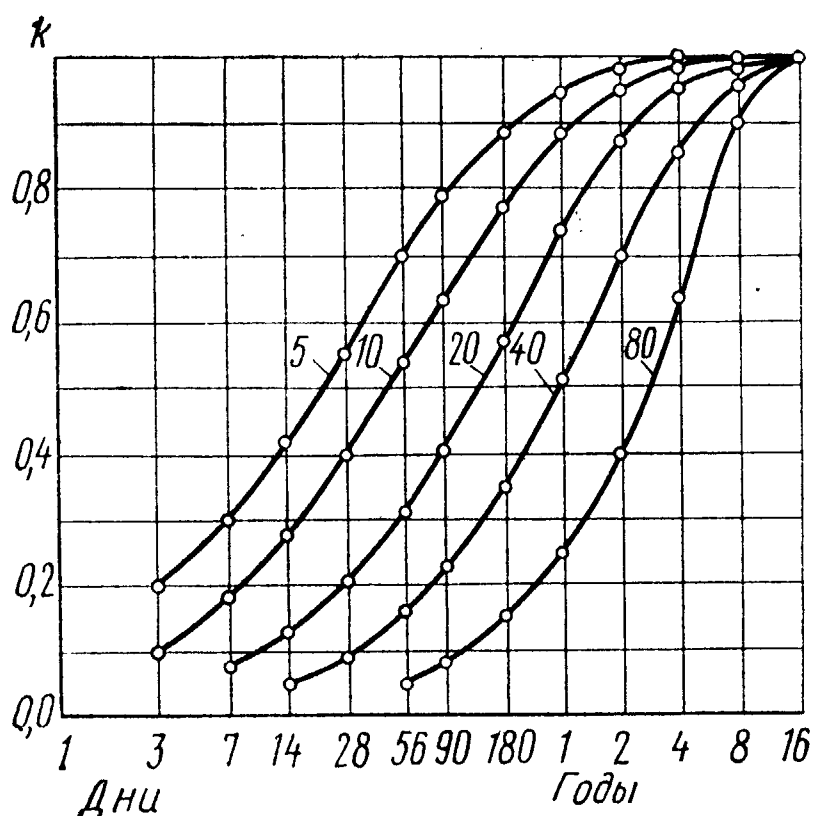


Рис. 38. Затухание усадки во времени. Приведены значения коэффициента k в зависимости от времени и толщины d бетонной конструкции. На кривых обозначена толщина конструкции в см. (По DIN 1045, рис. 12) [318]

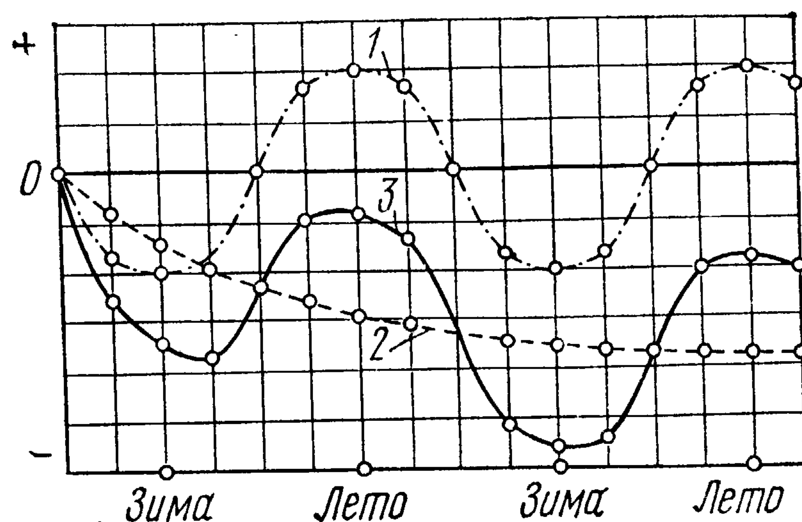


Рис. 39. Зависимость теплового и усадочного удлинения от времени года [(+) — растяжение, (—) — сжатие]

1 — тепловое удлинение; 2 — усадка; 3 — общее удлинение

показывает, на сколько удлиняется определенный строительный материал при изменении температуры на 1°. Значения $\alpha_т$ приведены в табл. 11.

Усадочное удлинение $\varepsilon_{ус}$ — также независимая от нагрузки деформация, которая вызывается отдачей влаги при твердении цементных или известковых вяжущих материалов. Усадочное удлинение всегда принимает отрицательное значение. Усадочное удлинение, которое зависит от времени, размера сжатия и заканчивается по истечении всех усадочных процессов, называется конечной величиной усадки $\varepsilon_{ус.к}$ (мм/м) (табл. 11).

От момента изготовления конструкции до рассматриваемого момента времени достигнутое усадочное удлинение $\varepsilon_{ус}$ составляет

$$\varepsilon_{ус} = k\varepsilon_{ус.к}. \tag{40}$$

Значения k приведены на рис. 38.

Если сложить отдельные составляющие удлинения конструкции, то получим общее удлинение $\varepsilon_{об}$ (мм/м):

$$\varepsilon_{об} = \varepsilon_у + \varepsilon_п + \varepsilon_т + \varepsilon_{ус}. \tag{41}$$

Общее абсолютное удлинение ΔL (мм) конструкции длиной L вычисляется по формуле

$$\Delta L = \varepsilon_{об} L. \tag{42}$$

Следует еще раз обратить внимание на то, что общее удлинение $\varepsilon_{об}$ и абсолютное удлинение ΔL конструкции не является однажды достигнутой и тем самым постоянной величиной. За исключением упругого удлинения все другие составляющие общего удлинения зависят от времени.

Исходной по времени точкой всех расчетов служит возведение конструкции или время, к которому две конструкции, с различной деформативностью входят в соприкосновение.

Изменение длины конструкции из-за теплового удлинения или усадки, начиная с этого момента, может быть описано графически, как показано на рис. 39.

Перед расчетом деформации следует указать время, для которого действителен расчет, т. е. год и месяц изготовления, зима или лето. Для установления максимального значения $\varepsilon_{об}$ всегда выполняются не менее двух расчетов: для зимы и лета, причем в зависимости от этого в расчет подставляется соответствующая величина усадки $\varepsilon_{ус}$.

2. Оценка деформаций. Детального расчета деформаций, связанного с проверкой трещиностойкости, не может быть в задании, планируемом архитекторами. Обсуждение этой темы сознательно ограничивается приблизительной расчетной оценкой наиболее подверженных повреждениям конструкций. Это особенно касается опасности образования трещин в кирпичной кладке из-за деформации граничащих с ней конструкций (массивные конструкции перекрытий, опирающиеся на стены из кирпичной кладки) [78, 244, 305, 345, 346]. Для оценки деформации достаточно знания тепловых и усадочных удлинений. Еще один сложный вопрос — опасность образования трещин в перегородках, опирающихся на железобетонные перекрытия [305, 235].

2.1. Деформации примыкающих конструкций. Удлинение от усадки $\varepsilon_{ус}$ или конечная величина усадки $\varepsilon_{ус.к}$ в зависимости от времени может быть принято по табл. 11 и рис. 38 [формула (40)].

Для определения теплового удлинения $\varepsilon_т$ нужно знать температуру $t_с$ в середине тех слоев, изменение длины которых необходимо вычислить. Последняя легко определяется с помощью диаграммы $1/k$ — t (рис. 40). Причем зимой принимается температура наружного воздуха $t_н$ (неблагоприятное условие, без учета солнечного облучения), летом — температура наружной поверхности $t_{н.о}$, так как неблагоприятным фактором является нагрев наружной поверхности стены до более высокой температуры, чем температура наружного воздуха.

Если не прибегать к графическому представлению распределения температур, то необходимую температуру (°C) можно определить расчетным путем на основе диаграммы $1/k$ — t (см. рис. 40). $1/k_в$ — сопротивление теплопередаче (включая сопротивление тепловосприятию внутри $1/\alpha_в$) слоев, расположенных между внутренней гранью и серединой рассчитываемого слоя, тогда:

$$t_{с.з}=t_в-\frac{(t_в-t_н)}{1/k}\,\frac{1}{K_в}\ \text{(зима);}\tag{43}$$

$$t_{с.л}=t_в-\frac{(t_в-t_{н.о})}{1/k-1/\alpha_н}\,\frac{1}{k_в}\ \text{(лето).}\tag{44}$$

К моменту возведения конструкций отмечается температура t_0. Тогда определяющей для теплового удлинения $\varepsilon_{т.з}$ (мм/м) зимой служит разность температур $t_{с.з}$ — t_0:

$$\varepsilon_{т.з}=\alpha_т\,(t_{с.з}-t_0).\tag{45}$$

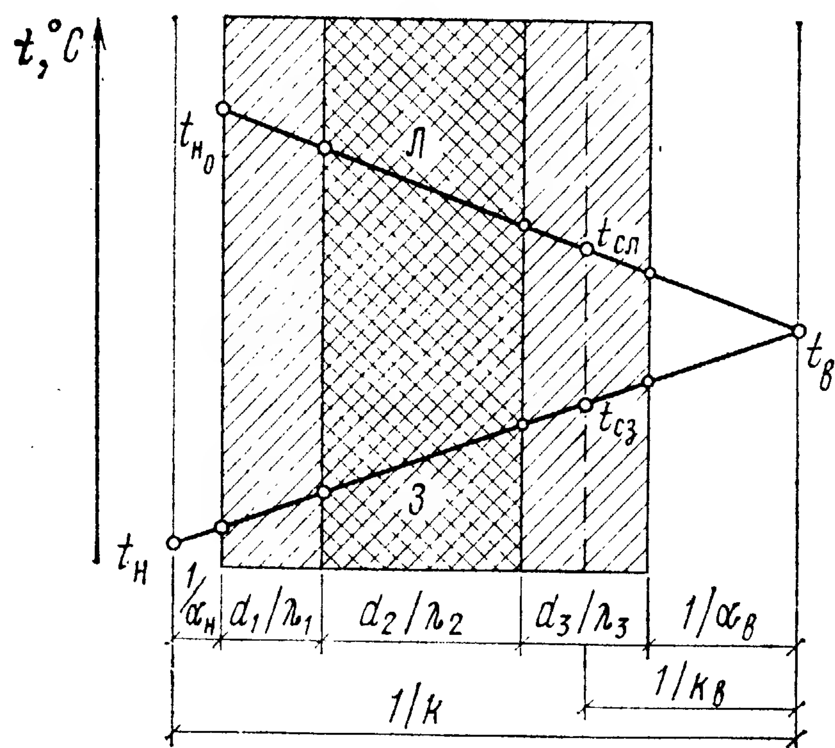


Рис. 40. Определение средних температур слоев в диаграмме $1/k-t$. Температура середины слоя $t_с$ (3-й слой) может определяться графически

Л — распределение температуры летом; З — то же, зимой

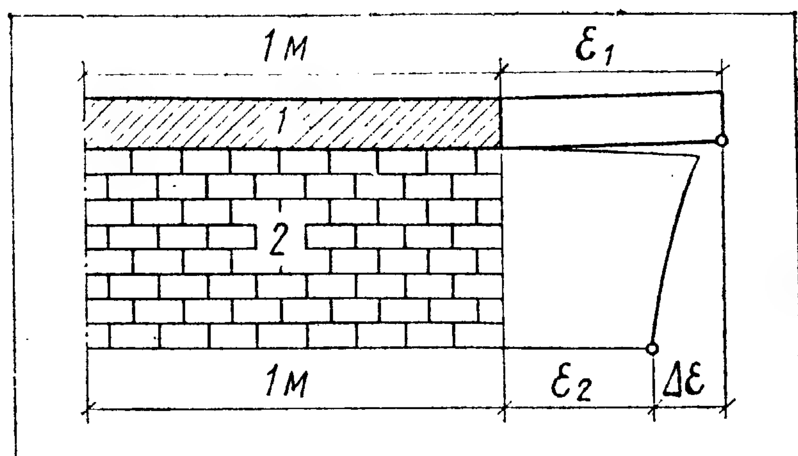


Рис. 41. Разность удлинений $\Delta\varepsilon$ двух связанных конструкций (1, 2). Незаштрихованная область — положение конструкций после их удлинения. Разрыв происходит в области соединения обеих конструкций. Исходная длина сечения 1 м

Тепловое удлинение $\varepsilon_{т.л}$ летом определяется разностью температур $t_{с.л} - t_0$:

$$\varepsilon_{т.л} = \alpha_т (t_{с.л} - t_0). \qquad (46)$$

Разность удлинений $\Delta\varepsilon$. К моменту, для которого определяется деформация, общее удлинение первой конструкции (1): $\varepsilon_{об_1} = \varepsilon_{т_1} + \varepsilon_{ус_1}$, второй конструкции (2): $\varepsilon_{об_2} = \varepsilon_{т_2} + \varepsilon_{ус_2}$ (рис. 41).

Конструкции (1) и (2) жестко связаны одна с другой. Если $\varepsilon_{об_1} \neq \varepsilon_{об_2}$, то разность удлинений обеих конструкций $\Delta\varepsilon = \varepsilon_{об_1} - \varepsilon_{об_2}$. Вследствие этого в зоне соединения конструкций возникают напряжения, которые при достаточно больших разностях удлинений приводят к образованию трещин в зоне контакта конструкций. $\Delta\varepsilon$ вычисляется по формулам:

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_{об_1} - \varepsilon_{об_2}; \qquad (47)$$

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_{ус_1} - \varepsilon_{ус_2} + \varepsilon_{т_1} - \varepsilon_{т_2}. \qquad (48)$$

Для зимы и лета $\Delta\varepsilon$ вычисляется с учетом достигнутых значений усадки $\varepsilon_{ус_1}$ и $\varepsilon_{ус_2}$, поскольку результатом расчета должна стать конечная величина усадки к данному моменту времени $\varepsilon_{ус.к}$. Если расчет должен быть выполнен для конечного состояния, то $\varepsilon_{ус}$ заменяется на $\varepsilon_{ус.к}$.

Определение разности удлинений устанавливает «совместимость» определенной комбинации строительных материалов или функциональную способность определенного вида конструкции с точки зрения связи двух элементов.

Особенно подвержен повреждениям узел опирания кровельного покрытия из железобетона на стену из кирпичной кладки. Причиной является относительно небольшая прочность на сдвиг кирпичной кладки в зоне непосредственно под опорой кровельного покрытия, где вертикальная сжимающая сила (и, следовательно, прочность на сдвиг кирпичной кладки) из-за небольшой нагрузки много меньше, чем, например, этажом ниже.

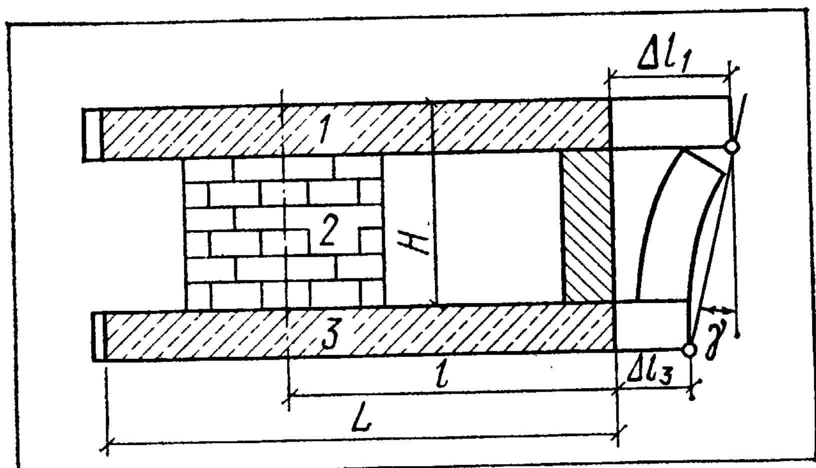


Рис. 42. Горизонтальный сдвиг tgγ. Незаштрихованная область показывает положение связанных конструкций после изменения их длины Δl. Разрыв возникает поперек направления удлинения. Конструкция *2* образует жесткую связь между конструкциями *1* и *3*. Поэтому для расчета изменения длин Δl_1 и Δl_3 не нужна общая длина L, а действительная длина сдвига измеряется от середины конструкции *2*.

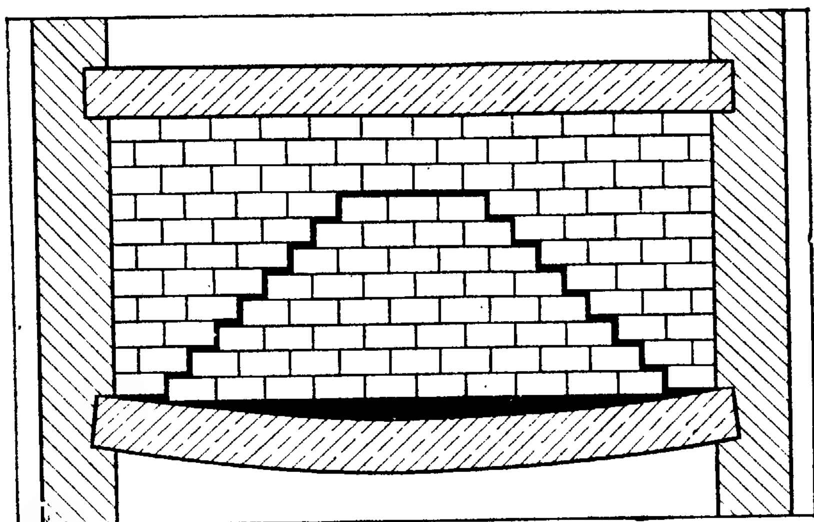


Рис. 43. Образование трещин в ненесущих кирпичных перегородках из-за прогибов железобетонных перекрытий. Выше трещины образуется опорный свод — подпорка. Если перекрытие над стеной также прогибается, то свод продавливается и образуется чисто диагональная трещина. При известных условиях это приводит к образованию вертикальных сдвиговых трещин на боковых примыканиях стены

Разность удлинений рассчитывается независимо от фактической длины рассматриваемой конструкции. Исходят из того, что разности удлинений (поскольку они остаются ниже определенных критических величин) могут быть восприняты без повреждений благодаря упругой и пластической деформативности (ползучести) участвующих в работе конструкций.

Перекос вертикальных элементов из-за изменений длин горизонтальных конструкций. Результатом различных изменений длин горизонтальных конструкций является отклонение установленных между ними вертикальных элементов, которое может быть оценено как вредная деформация (рис. 42).

Угол γ, на который элемент отклоняется от своего вертикального положения, называется горизонтальным углом сдвига. Чтобы установить наличие перекоса ($\operatorname{tg}\gamma$, мм/м), следует определить абсолютное изменение длин конструкций (1) и (3):

$$\Delta l_1 = \varepsilon_{об_1} l; \quad \Delta l_3 = \varepsilon_{об_3} l, \tag{49}$$

где $\varepsilon_{об_1}$ и $\varepsilon_{об_3}$ — удлинения конструкций (1) и (3) к рассматриваемому моменту времени. Действительная длина подверженного сдвигу участка конструкций в момент возведения составляет l; H — высота конструкции. Тогда имеем:

$$\operatorname{tg}\gamma = (\Delta l_1 - \Delta l_3) : H, \tag{50}$$

или

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{1}{H}(\varepsilon_{об_1} - \varepsilon_{об_3}). \tag{51}$$

Если кровельное покрытие и нижележащее перекрытие выполнены из одного и того же бетона и вследствие этого имеют одинаковые усадочные удлинения, формулу можно записать в упрощенном

виде:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{1}{H} (\varepsilon_{T_1} - \varepsilon_{T_2}). \quad (52)$$

Это означает, что при некотором упрощении горизонтальный угол сдвига может быть вычислен только с учетом различных тепловых удлинений ε_{T_1} и ε_{T_2} обоих перекрытий. Так как практически междуэтажные перекрытия при центральном отоплении никаким ощутимым температурным колебаниям не подвержены, кровельное покрытие, будучи наружной конструкцией, сильно деформируется под действием колебаний наружной температуры.

Горизонтальный угол сдвига γ зависит от абсолютных изменений длин конструкций Δl (см. рис. 42), поэтому не всегда общая длина конструкции L может быть включена в расчет. Вычисление горизонтального угла сдвига (определение разностей удлинений) может быть использовано для оценки максимально возможных длин конструкций.

2.2. Прогиб железобетонных перекрытей. В ненесущих кирпичных стенах, опертых на железобетонные перекрытия, при повышенных прогибах последних могут образовываться трещины, поскольку условия их опирания в этом случае сильно изменяются (рис. 43). Осложняющим фактором является прогиб перекрытия над ненесущей стеной, из-за чего стена испытывает дополнительное давление.

В составе прогиба железобетонного перекрытия меньшая часть деформации, проявляющейся в виде упругого удлинения, состоит из деформации, возникающей непосредственно после приложения нагрузки, а бо̀льшая — из прекращающихся впоследствии долговременных деформаций, в частности от ползучести и усадки. Этот аспект в дальнейшем не рассматривается [305, 318].

УКАЗАНИЯ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ

1. Предотвращение значительных деформаций. 1.1 Тепловое удлинение. Основной принцип уменьшения теплового удлинения становится очевиден при анализе рис. 44. Речь идет о том, чтобы наибольшие температурные колебания (подобные тем, которым подвержен наружный воздух или наружная поверхность) по возможности тщательно экранировать от несущей конструкции. Это означает, что наиболее благоприятным является размещение теплоизолирующих слоев на наружной стороне конструкций; это дает преимущество и с точки зрения диффузии паров. Тепловое удлинение несущей конструкции при таком расположении слоев уменьшается тем больше, чем больше сопротивление теплопередаче d/λ слоя теплоизоляции (рис. 45).

Это принципиальное положение имеет и свои отрицательные стороны. Если перед слоем теплоизоляции расположена тонкая и плот-

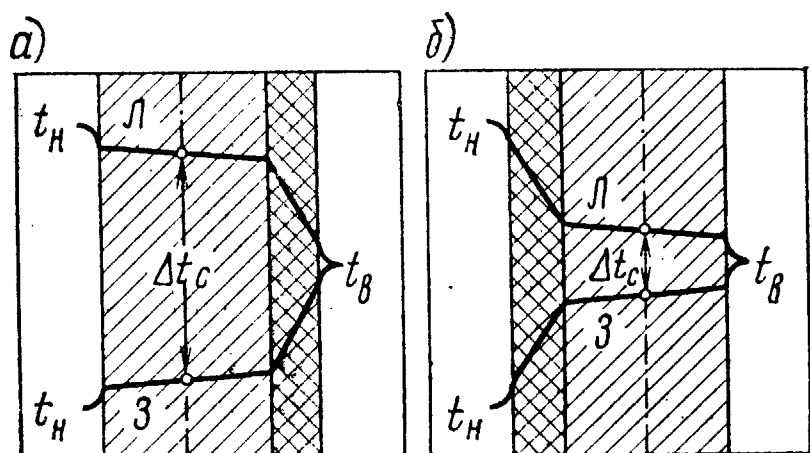


Рис. 44. Зависимость теплового удлинения от расположения слоя теплоизоляции

а — слой теплоизоляции расположен внутри, разность температур Δt_c в середине несущего слоя большая; *б* — слой теплоизоляции расположен снаружи, разность температур Δt_c в середине несущего слоя меньше; Л — распределение температур летом; З — то же, зимой

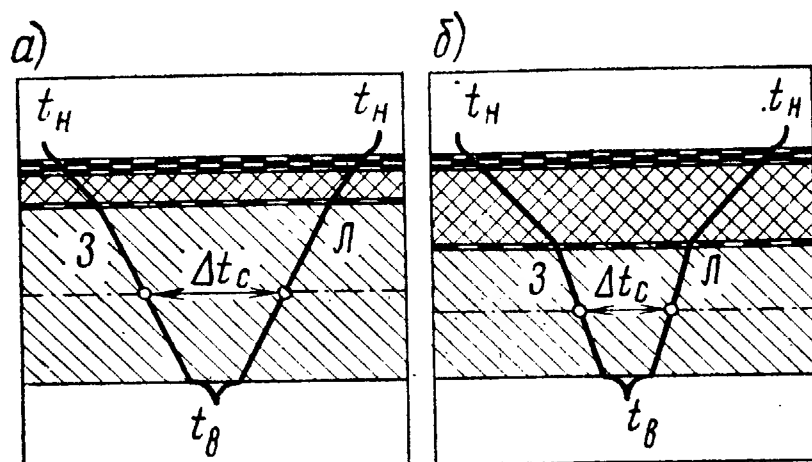


Рис. 45. Зависимость теплового удлинения от толщины слоя теплоизоляции. Разность температур Δt_c (*а*) уменьшается при увеличении толщины слоя теплоизоляции (*б*)

Л — распределение температур летом; З — то же, зимой

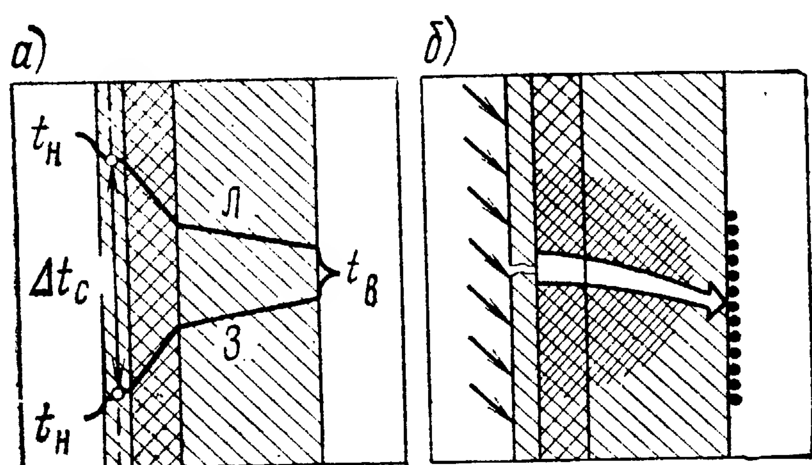


Рис. 46. Тепловое удлинение в тонких декоративных слоях

а — распределение температур летом и зимой и разность температур в декоративном слое с расположенным за ним слоем теплоизоляции; *б* — опасность трещинообразования и последующего повреждения

ная облицовка, то это вызывает необычно большой перепад температур (перегрев). Примером такой конструкции служит оштукатуренный с наружной стороны слой теплоизоляции из легких древесностружечных плит (рис. 46).

Защитить несущую конструкцию от слишком большого теплового удлинения можно, если наружную штукатурку дополнительно армировать (стальной арматурой периодического профиля, стекловолокном и т. д.) или разделить ее швами на участки минимального размера. Разделение подверженных деформациям конструкций швами — эффективное средство для предотвращения повреждений; таким образом успешно контролируется образование трещин. Необходимые расстояния между швами приведены в табл. 12 [136], однако они ни в коем случае не должны заменять точного расчета, выполняемого инженером-расчетчиком.

Если в конструкции одновременно применяются элементы с различными коэффициентами температурного удлинения $\alpha_т$ и эти элементы не могут взаимно перемещаться (например, бетонные парапеты и перемычки по отношению к многослойным кирпичным стенам), то в этих местах также необходимо устройство стыков. Следует обратить внимание на одно весьма неприятное явление, сопутствующее образованию трещин. Полностью избежать тепловых удлинений конструкций не удается. Если трещины один раз возникли, то в этих трещинах снижаются воспринимавшиеся (возможно без повреждений) за счет упругости бетона термические напряжения. Эти места

ТАБЛИЦА 12. РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ШВАМИ (ПО Glatz) [136]

Конструкция	Характеристика конструкции	Расстояние между швами *a*, м
Свободностоящие стены	Кирпичная стена на теневой стороне	⩽20
	Кирпичная стена, облучаемая солнцем	⩽10
	Кладка из камней: на цементном вяжущем, например пустотелых блоков, силикатных камней	
	на теневой стороне	⩽15
	на стороне, облучаемой солнцем	⩽8
	Неармированный бетон на теневой стороне	⩽8
	То же, облучаемый солнцем	⩽3
Стены зданий из кирпича	(Нижняя граница для перекрытий из монолитного бетона, верхняя — для сборных железобетонных перекрытий и перекрытий на деревянных балках)	⩽15—30
Железобетонные каркасы и большепролетные залы	В общем случае	⩽30—50
	При повышенной пожаро- и взрывоопасности	⩽30
Плоские кровли, террасы (швы должны проходить через нижележащий этаж)	Над кирпичными стенами при теплоизоляции, выполненной в соответствии с DIN 4108 без проверки. Бóльшие расстояния принимаются между швами, только если тепловые и усадочные напряжения воспринимаются дополнительным армированием при расчетной проверке или устройстве скользящей опоры	⩽6
Карнизы, выступающие консольно железобетонные плиты, балконы	При достаточной изоляции	⩽6
	Без изоляции (дополнительные швы в промежутках между швами здания)	⩽3
Бесшовные (монолитные) покрытия пола	Поверх слоев теплоизоляции с установкой проволочной сетки, облучаемые солнцем	⩽4
Открытые плавательные бассейны	Железобетон	⩽15
Отстойники, резервуары	Неармированный бетон (оставлять усадочные отверстия)	⩽8—10

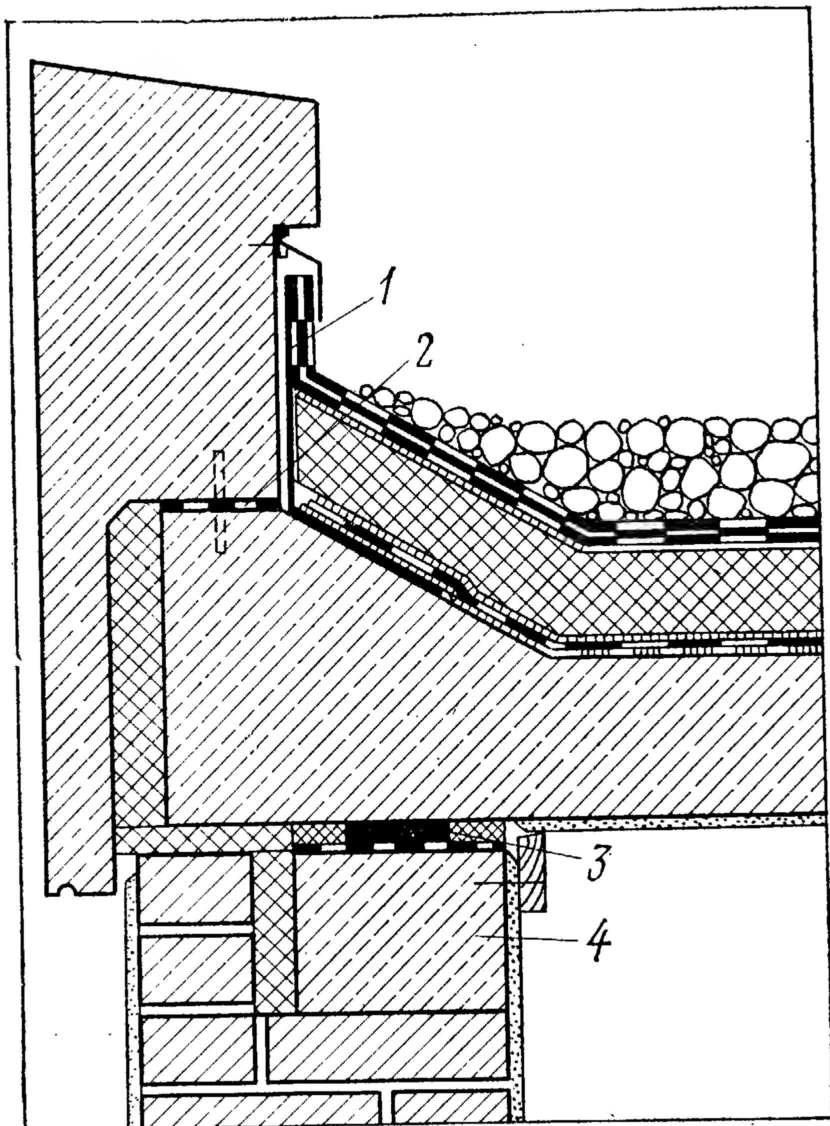


Рис. 47. Устройство подвижной опоры кровельного покрытия. Железобетонное покрытие через прокладку из эластомера и допускающую скольжение фольгу (*3*) укладывается на перемычку (*4*). Неутепленный с наружной стороны железобетонный парапет вследствие ожидаемых больших тепловых удлинений также опирается на плиту покрытия способом, допускающим сдвиг (*2*). Кровельное покрытие полностью отделено от подвижного парапета (*1*)

всегда остаются слабыми, хотя в очень редких случаях трещины могут полностью закрыться.

1.2 Удлинение от усадки. В противоположность тепловому удлинению удлинение от усадки — вид деформации, которая рано или поздно прекращается. Трещины, причиной образования которых является исключительно усадка, могут быть через некоторое время заделаны, поскольку в отличие от термических напряжений усадка со временем прекращается.

Опасно удлинение от усадки прежде всего из-за своей относительно высокой величины, которая при известных обстоятельствах может превысить тепловое удлинение (см. пример расчета). Удлинение от усадки (и ползучести) может быть значительно уменьшено за счет соответствующего ухода за свежеуложенным бетоном путем укрывания, удержания влаги и поздней распалубки. Положительное действие оказывает также применение более жестких бетонных смесей (см. табл. 11).

1.3. Опирание кровельных покрытий. Особенно подробно освещена проблема опирания массивных кровельных покрытий на стены из кирпичной кладки, где часто образуются трещины, в первом выпуске норм DIN 18530 [344, 345]. Из них исходит часть требований, относящихся к максимально допустимым разностям удлинений $\Delta\varepsilon$ и горизонтальному углу сдвига ($\operatorname{tg}\gamma$). Кроме того, в нормах дано большое число конструктивных указаний для предотвращения образования трещин в зоне опирания кровельных покрытий.

Во всех случаях, когда после применения приведенных здесь способов расчета ожидаемые деформации окажутся слишком большими, в зоне опирания кровельных покрытий следует предусматривать скользящее опирание железобетонной плиты на вертикальные несущие конструкции. Принципиальное устройство такого опирания показано на рис. 47.

2. Предотвращение значительных прогибов перекрытий. Наибольшее влияние на прогиб перекрытия оказывает гибкость несущей железобетонной части покрытия, определяемая отношением $l_в/h$. Поэтому следует принять меры, чтобы сделать ее как можно

меньшей. Максимальные граничные значения [318] должны быть приняты еще меньшими, если другие условия, служащие для ограничения прогиба, не могут быть соблюдены. К ним относятся все мероприятия, которые используются для предотвращения слишком больших усадочных удлинений.

Кирпичные перегородки необходимо возводить в более поздние сроки после бетонирования перекрытий; это относится и к оштукатуриванию стен. Таким образом снижается наиболее сильное влияние удлинений перекрытий от усадки и ползучести вскоре после их устройства.

В определенных случаях перегородки следует выполнять как самонесущие. Наряду с применением легких панельных перегородок можно использовать **армированные кирпичные стены**. При устройстве неармированных кирпичных стен в зоне проемов и опорных швов следует укладывать некоторое количество стальной арматуры.

ТРЕБОВАНИЯ И ОЦЕНКА

1. **Климатические условия.** Для расчета теплового удлинения $\alpha_т$ следует принимать лишь **экстремальные неблагоприятные температуры** $t_н$. Это очевидно, поскольку при назначении зимней температуры выше средней многолетней температуры наружного воздуха, в течение нескольких часов при более низких температурах в конструкциях здания образовались бы трещины. Климатические условия, которые нужны для расчета тепловых удлинений, представлены в табл. 13.

2. **Допустимые разности удлинений $\Delta\varepsilon$ и горизонтальных углов сдвига ($tg\gamma$).** По изложенным выше соображениям разность удлинений следует рассчитывать для всех связанных между собой конструкций здания. Особенно критически нужно оценивать разность удлинений железобетонного кровельного покрытия и стены из кирпичной кладки, когда из-за возможных удлинений панели покрытия могут возникнуть повреждения (см. также раздел «Конструктивные указания»).

В первом выпуске норм DIN 18530 [346] («Массивные конст-

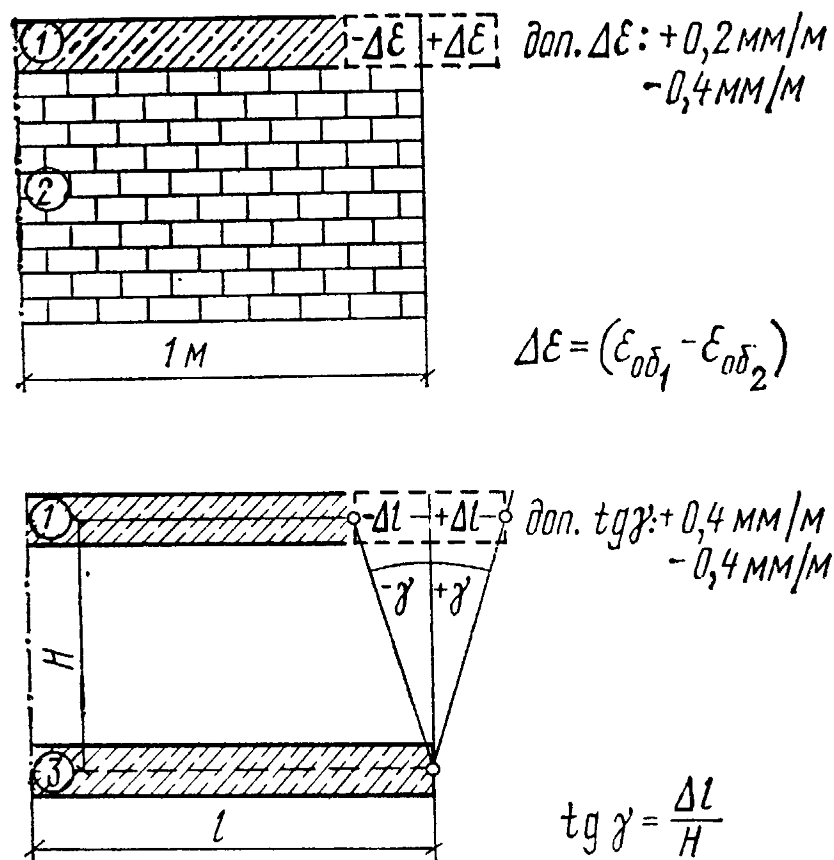


Рис. 48. Максимально допустимые значения разностей удлинений и горизонтальных сдвигов в зоне опирания массивных кровельных покрытий.

Область применения. Расчет необходим во всех случаях, когда кровельное покрытие должно быть оперто без сдвига и здание одноэтажное и (или) длина l подверженной сдвигу конструкции больше 6 мм. Эти критерии следует применять для однослойных невентилируемых и двухслойных вентилируемых кровель, а также для недостроенных чердаков при опирании покрытий на кирпичные стены и неармированный бетон. По данным DIN 18530 (346)

ТАБЛИЦА 13. РАСЧЕТНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕПЛОВЫХ УДЛИНЕНИЙ [91, 305]

Конструкции	Температуры, °С			
	t_0	$t_н$	$t_в$	$t_{н_0}$
1. Кровля и стены (поперечное сечение) возведенные:				
зимой	+2	—	—	—
летом	+30	—	—	—
2. Кровля и стены, а также воздух помещения вентилируемых плоских кровель (зимой):				
климатический район I/II	—	—15	—	—
» » III	—	—20	—	—
в недостроенном чердачном помещении	—	—5	—	—
3. Наружные поверхности летом, в том числе:				
элементы кровли:				
кровельный картон без гравийной засыпки	—	—	—	+85
то же, с гравийной засыпкой	—	—	—	+60
черепичная кровля (ориентированная на юг)	—	—	—	+60
кровельное покрытие под недостроенным чердаком	—	—	—	+35
стена с ориентацией:				
восточной	—	—	—	+45
южной	—	—	—	+40
западной, окраска	—	—	—	
черная	—	—	—	+65
кирпично-красная	—	—	—	+55
серая	—	—	—	+50
цвета слоновой кости	—	—	—	+45
белая	—	—	—	+40
4. Кровля и стена (внутри помещения): зимой и летом, постоянно	—	—	+20	—

Область применения. Все температуры представляют собой кратковременно действующие экстремальные значения. Их следует использовать при расчетах тепловых удлинений для определения размеров конструкций. Для условного использования иных температур внутри помещений $t_в$ их значения могут быть приняты по табл. 3 приложения.

рукции кровельных покрытий, указания по проектированию и возведению») изложены вопросы, связанные с устройством зоны опирания кровельных покрытий. Важнейшие требования из этих норм приведены на рис. 48.

3. Примечания к требованиям 1—2. Деформации в зоне опирания кровельных покрытий были (в 1971 г.) предметом обсуждения

в проекте норм DIN 18530 [345]. В них приводились также способы расчета разностей удлинений и горизонтальных углов сдвига. В 1974 г. появилась первая редакция норм DIN 18530 [346], которая никаких новых указаний о способах расчета не содержала. Приведенные в этой редакции требования относительно допустимых разностей удлинений и горизонтальных углов сдвига против проекта норм частично ужесточены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

53, 54, 78, 136, 244, 270, 271, 305, 318, 345, 346, 20, 67, 99, 169, 184, 242, 246, 247, 257, 83, 75, 218.

ПРИМЕРЫ

ПРОВЕРКА ДЕФОРМАЦИЙ НА ОПОРЕ КРОВЕЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ

Задание. Дан план двухэтажного жилого дома (рис. 49). Здание расположено во II климатическом районе, имеет центральное отопление. Конструктивные особенности здания:

а — чердак не застроен;

б — кровельное покрытие (1-я конструкция) состоит из следующих слоев (снаружи внутрь): цементная стяжка толщиной 4 см; пенополистирол толщиной 4 см; железобетонная плита из бетона марки 250 толщиной 16 см. Бетон для кровли должен быть пластичной консистенции ($К_3$);

в — наружная стена толщиной 49 см (2-я конструкция) состоит из оштукатуренной с обеих сторон кирпичной кладки из полнотелого кирпича. Объемная масса кирпича — 1400 кг/м^3 (DIN105). Окраску наружной стены можно считать серой;

г — несущая часть перекрытия нижнего этажа (3-я конструкция) — железобетонная плита толщиной 16 см, марки 250 из бетона пластичной консистенции ($К_3$);

д — в северной стороне дома предусмотрена несущая внутренняя стена, которая при сдвигах кровельного покрытия и междуэтажного перекрытия служит неподвижной опорой, чтобы действительная длина сдвига l не стала бы равной общей длине дома L;

е — южнее находится ненесущая перегородка из кирпича толщиной 11,5 см.

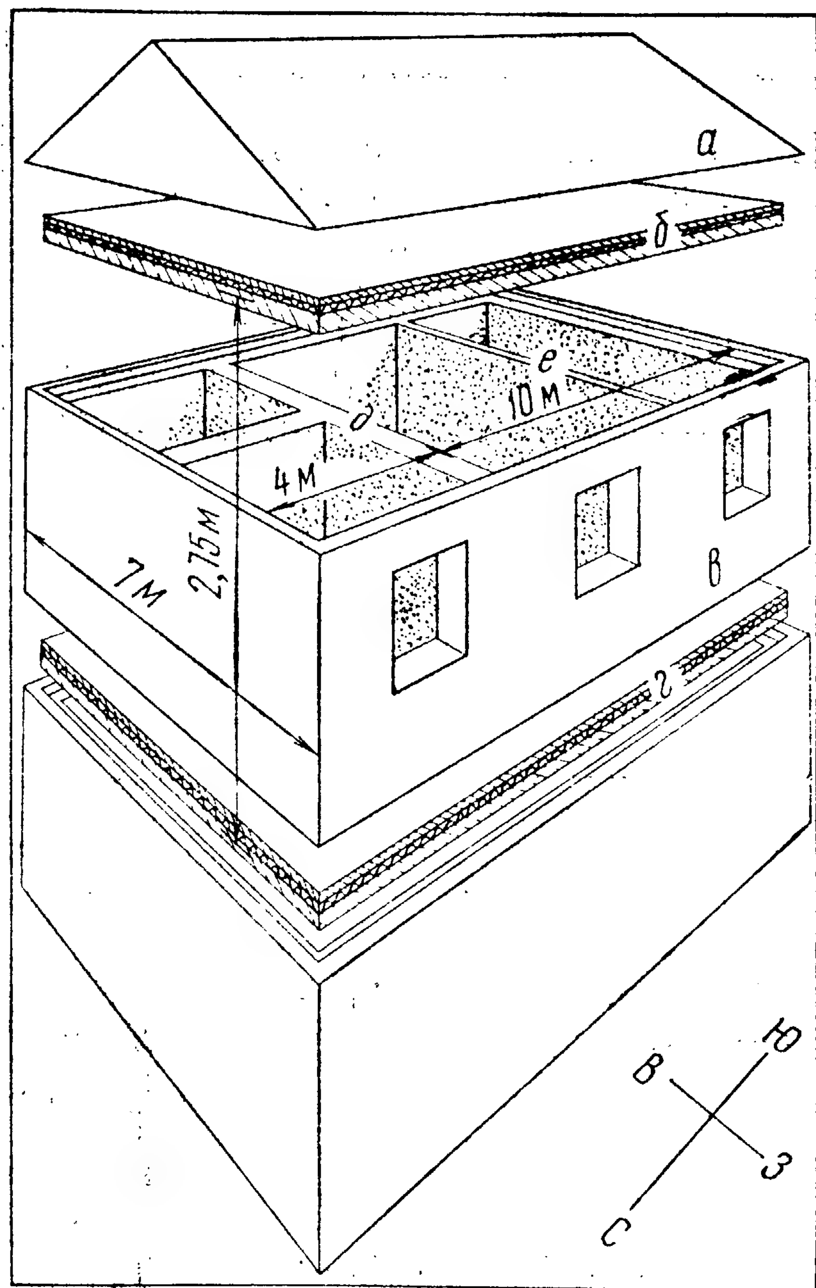


Рис. 49. Исходная ситуация для последующих расчетов

А. Проверка разности удлинений между стеной и кровельным покрытием. Речь идет о том, чтобы определить разницу удлинений между кровельным покрытием и наружны-

ми стенами. В качестве наружной стены выбрана западная стена, испытывающая наибольшую тепловую нагрузку.

В. Проверка сдвигов между кровельным покрытием и расположенным под ним междуэтажным покрытием. Благодаря этому расчету учитывается опрокидывание (потеря устойчивости) стены в направлении, перпендикулярном направлению наибольшего удлинения кровельного покрытия и междуэтажного перекрытия. В рассматриваемом случае эта стена является южной.

При выполнении расчетов А и В исходили из того, что монтаж перекрытий (кровельных и междуэтажных) выполнен летом. Вследствие этого при расчете тепловых удлинений следует исходить исключительно из удлинений, которые происходят за время от момента выполнения конструкций летом до строительства в зимнее или летнее время. Необходимость при монтаже конструкций в летнее время рассчитывать тепловые удлинения также для летних условий вытекает из того, что между температурами конструкций в состоянии возведения и при эксплуатации может быть значительная разница.

Если время устройства перекрытий неизвестно, рекомендуется рассчитывать удлинения исходя при необходимости из условия возведения их летом или зимой.

Расчеты А и В нужны потому, что длина сдвига кровельного покрытия больше 6 м (см. рис. 48).

А. Разность удлинений между стеной и кровельным покрытием

1. Тепловое удлинение покрытия (1-я конструкция)

Условия и материалы	λ, Вт/(м·°С)	d/λ, м²·°С/Вт	$\alpha_т$, мм/(м·°С)	Примечание
Последовательность слоев:				
теплоотдача снаружи	—	0,04	—	См. табл. 1 и 2 приложения, табл. 11
цементная стяжка, 4 см	1,39	0,03	—	
пенополистирол, 4 см	0,04	1	—	
бетон марки 250, 16 см	2,03	0,08	0,01	
тепловосприятие внутри зимой	—	0,12	—	
(тепловосприятие внутри летом)	—	0,17	—	
		Зимой $1/K=1,27$ (Летом $1/K=1,32$)[1]		[1] Комментарий п. А7

Климатические условия

Зима:

Наружный воздух $t_в = -5$ °С

Внутренний воздух $t_в = +20$ °С

Лето:

Температура при возведении $t_о = +30$ °С

То же, наружной поверхности $t_{н_0} = +35$ °С

То же, внутреннего воздуха $t_в = +20$ °С

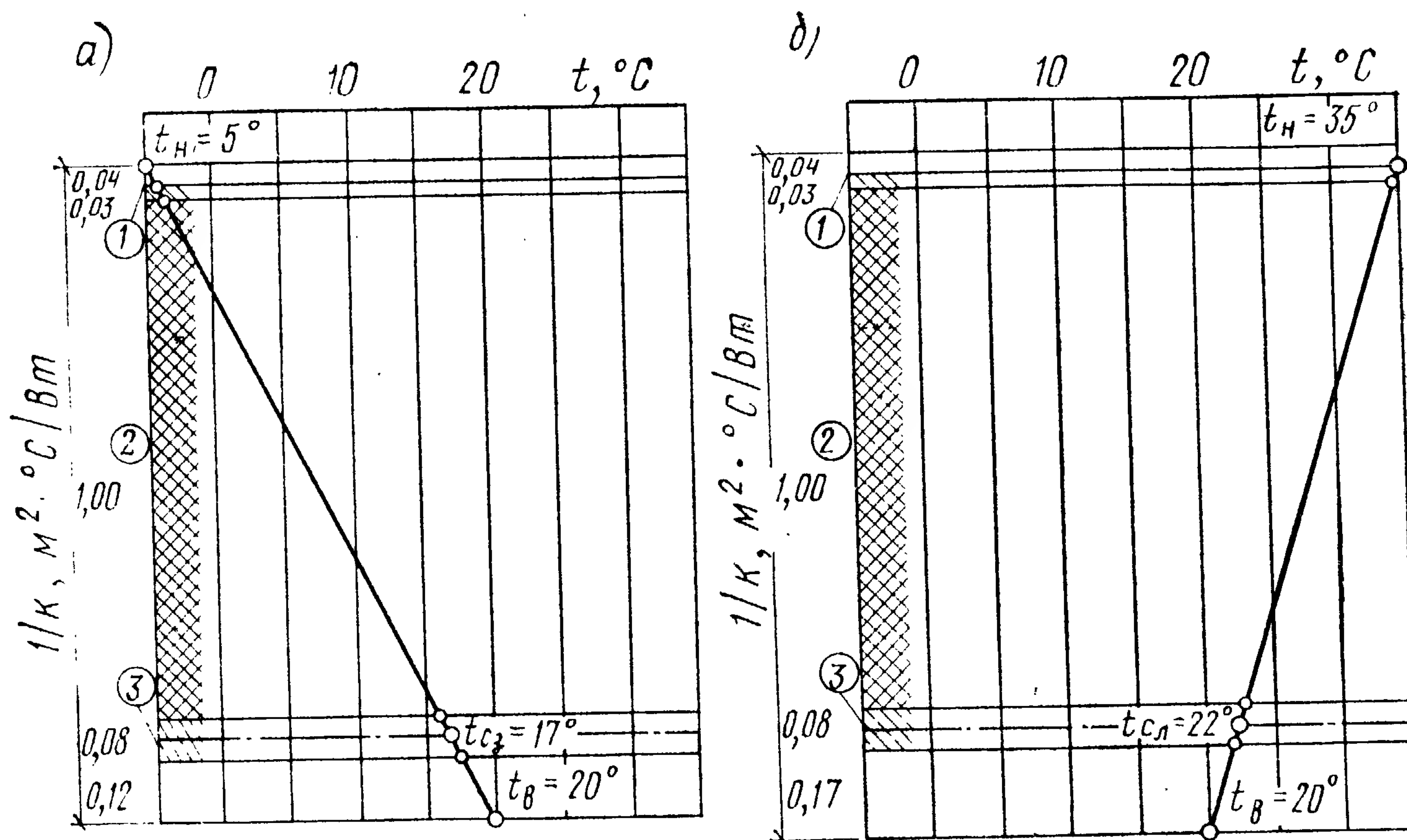


Рис. 50. Кровельное покрытие. Распределение температур зимой (*а*) и летом (*б*) (диаграмма $1/k—t$)

Температура в поперечном сечении несущего слоя (рис. 50)

Формулы (43), (44)

Зима:

$$t_{с.\ з} = t_в - \frac{t_в - t_н}{\frac{1}{k}} \frac{1}{k_в};$$

$$t_{с.\ з} = 20 - \frac{20+5}{1,27} \times \left(0,12 + \frac{1}{2}\ 0,08\right);$$

$$t_{с.\ з} = +17°C$$

Лето:

$$t_{с.\ л} = t_в - \frac{t_в - t_{но}}{\frac{1}{k} - \frac{1}{\alpha_н}} \times \frac{1}{k_в};$$

$$t_{с.\ л} = 20 - \frac{20-35}{1,32-0,04} \times \left(0,17 + \frac{1}{2}\ 0,08\right);$$

$$t_{с.\ л} = +22°C$$

Тепловое удлинение $\varepsilon_{т_1}$ *(1-я конструкция)*

Зима:

$$\varepsilon_{т.\ з_1}^{-} = \alpha_т\ (t_{с.\ з} - t_0);$$

$$\varepsilon_{т.\ з_1}^{-} = 0,01\ (17-30);$$

$$\varepsilon_{т.\ з_1}^{-} = -0,13\ мм/м$$

(укорочение)

Лето:

$$\varepsilon_{т.\ л_1}^{-} = \alpha_т\ (t_{с.\ л} - t_0);$$

$$\varepsilon_{т.\ л_1}^{-} = 0,01\ (22-30);$$

$$\varepsilon_{т.\ л_1}^{-} = -0,08\ мм/м$$

(укорочение)

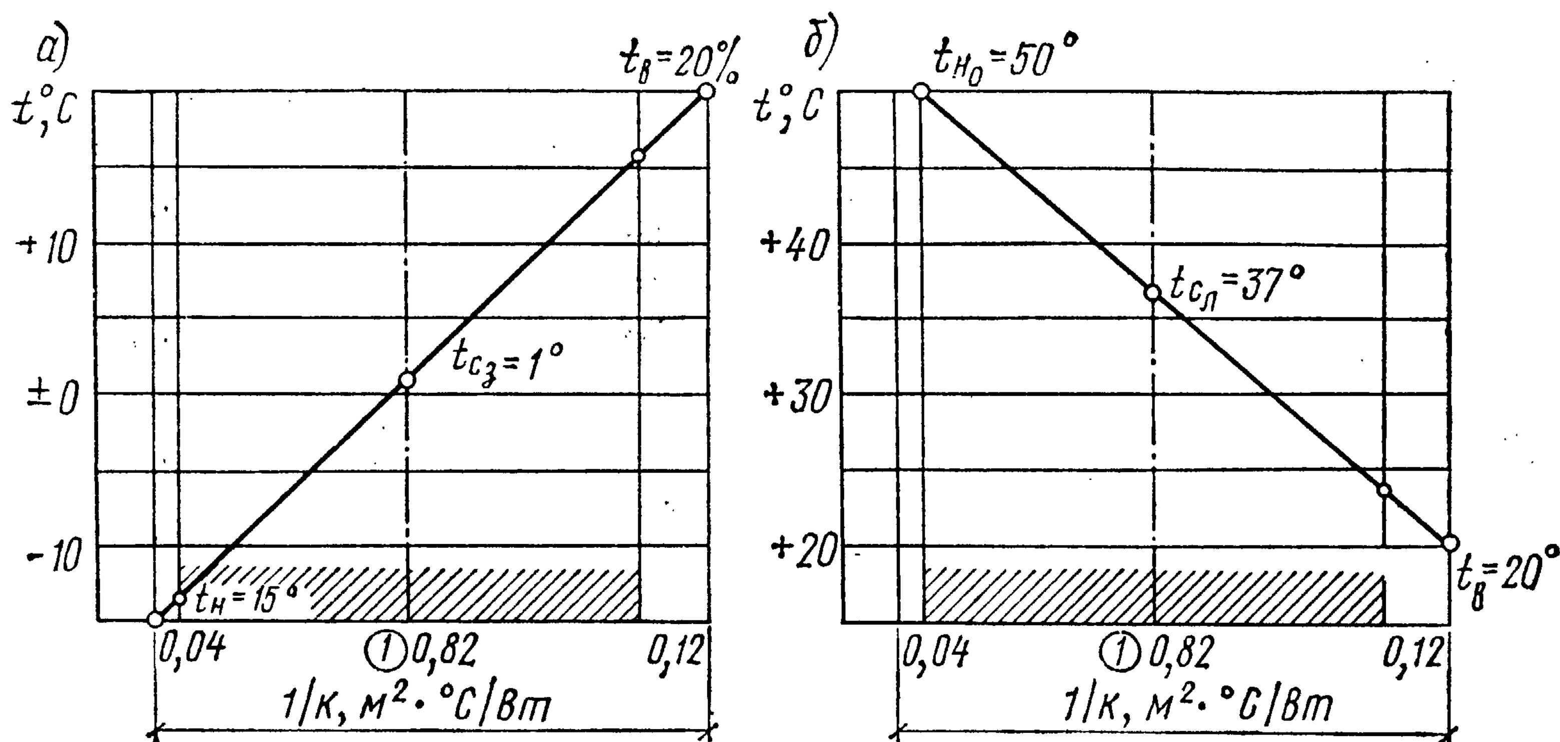


Рис. 51. Наружная стена. Распределение температур зимой (а) и летом (б) (диаграмма 1/k—t)

2. Тепловое удлинение наружной стены (2-я конструкция)

Условия и материалы	λ, Вт/(м·°С)	d/λ, м²·°С/Вт	$\alpha_т$, мм/м	Примечание
Последовательность слоев: теплоотдача снаружи полнотелый кирпич: γ=1400 кг/м³, толщина 49 см тепловосприятие внутри	0,6	0,04 0,82 0,12 $1/k = 0{,}98^2$	0,006	См. табл. 2 приложения, табл. 1 приложения, табл. 11 ² См. комментарий, п. А7

Климатические условия (II климатический район по теплозащите)

Зима:

Наружный воздух

$t_н = -15$ °С;

Внутренний воздух

$t_в = +20$ °С

Лето:

Температура при возведении $t_н = +30$ °С;

То же, наружной поверхности $t_{н_0} = +50$ °С;

То же, внутреннего воздуха $t_в = +20$ °С

См. табл. 13

Температура в поперечном сечении несущего слоя (рис. 51)

Зима:

$$t_{с.\,з} = t_в - \frac{t_в - t_н}{\frac{1}{k}} \cdot \frac{1}{k_в};$$

Лето:

$$t_{с.\,л} = t_в - \frac{t_в - t_{н_0}}{\frac{1}{k} - \frac{1}{\alpha_н}} \cdot \frac{1}{k_в};$$

См. формулы (43), (44)

$t_{с.\ з} = 20 - \frac{20+15}{0,98} \times \left(0,12 + \frac{1}{2}\ 0,82\right);$ $t_{с.\ з} = +1°C$	$t_{с.\ л} = 20 - \frac{20-50}{0,98-0,04} \times \left(0,12 + \frac{1}{2}\ 0,82\right);$ $t_{с.\ л} = +37°C$

2.4. Тепловое удлинение $\varepsilon_{т2}$ *(2-я конструкция)*

Зима:	Лето:	
$\varepsilon^{-}_{т.\ з_2} = \alpha_т\ (t_{с.\ з} - t_0);$	$\varepsilon^{-}_{т.\ л_2} = \alpha_т\ (t_{сл} - t_0);$	См. формулы (45) (46)
$\varepsilon^{-}_{т.\ з_2} = 0,006\ (1-30);$	$\varepsilon^{-}_{т.\ л_2} = 0,006\ (37-30);$	
$\varepsilon^{-}_{т.\ з_2} = -0,17$ мм/м (укорочение)	$\varepsilon^{-}_{т.\ л_2} = +0,04$ мм/м (удлинение)	

3. Деформация от усадки кровельного покрытия (конструкция 1)

Условия и материалы	
Консистенция бетона покрытия $K_з$ (пластичная)	—
Расположение конструкции: преимущественно в сухом внутреннем помещении	—
Конечная усадка $\varepsilon_{ус.к} = 0,6$ мм/м	См. табл. 11
Деформация от усадки $\varepsilon_{ус1}$ *(1-я конструкция)* $\varepsilon_{ус1} = -0,6$ мм/м[3] (укорочение)	[3]) Комментарий, п. А7

4. Деформация от усадки наружной стены (конструкция 2)

Условия и материалы	
Кирпичная стена из полнотелого кирпича Конечная усадка $\varepsilon_{ус.к} = 0 \ldots 0,1$ мм/м	См. табл. 11
Деформация от усадки $\varepsilon_{ус2}$ *(2-я конструкция)* $\varepsilon_{ус2} = \pm 0,0$ мм/м[4]	[4]) Комментарий, п. А7

5. Разность удлинений $\Delta\varepsilon$ между кровельным покрытием и стеной

Зима:	Лето:	
$\Delta\varepsilon = (\varepsilon_{ус_1} - \varepsilon_{ус_2}) + /(\varepsilon_{т_1} - \varepsilon_{т_2});$	$\Delta\varepsilon = (\varepsilon_{ус_1} - \varepsilon_{ус_2}) + (\varepsilon_{т_1} - \varepsilon_{т_2});$	
$\Delta\varepsilon = -0,6-0,0-0,13+0,17;$	$\Delta\varepsilon = -0,6-0,0-0,08-0,04;$	См. п. А1, А2 А3, А4
$\Delta\varepsilon = -0,56$ мм/м	$\Delta\varepsilon = -0,72$ мм/м	
(Укорочение кровельного покрытия по отношению к стене)	(Укорочение кровельного покрытия по отношению к стене)	

6. Сравнение $\Delta\varepsilon_{факт}$ и $\Delta\varepsilon_{доп}$

Должно быть:		Фактически:		
Зима:	Лето:	Зима:	Лето:	См. рис. 48
$\Delta\varepsilon=$	$\Delta\varepsilon=$	$\Delta\varepsilon=$	$\Delta\varepsilon=$	
+0,2 мм/м	+0,2 мм/м	0,56 мм/м	0,72 мм/м	
—0,4 мм/м	—0,4 мм/м			

7. Комментарий

к 1): летом теплопередача в кровельном покрытии идет сверху вниз, в соответствии с этим на внутренней стороне следует принимать более высокое сопротивление тепловосприятию $1/\alpha_в = 0{,}17$ м$^2\cdot{}^\circ$С/Вт.

ко 2): наружная стена оштукатурена с обеих сторон. Из-за незначительного сопротивления теплопередаче тонких штукатурных слоев этим сопротивлением можно пренебречь.

к 3): поскольку необходимо рассчитать трещиностойкость конструкции в конечном состоянии, в качестве текущей или фактической величины усадки $\varepsilon_{ус}$ принимается $\varepsilon_{ус.к}$.

к 4): при расчете «в запас прочности» принимают минимальную величину усадки ($\varepsilon_{ус} = 0{,}00$ мм/м).

Конструкция в большой мере подвержена повреждениям. Вследствие чрезмерной деформации[1] кровельного покрытия по отношению к наружной стене в зоне опирания кровельного перекрытия происходит значительное трещинообразование.

Представляет интерес тот факт, что недопустимо высокие разности удлинений вызваны по существу усадкой кровельного покрытия. Тепловое удлинение приводит к очень небольшим разностям удлинений, которые ни в каких случаях не превышают допустимых значений.

Устранение недостатков в этом случае могло бы быть достигнуто благодаря применению бетона жестких консистенций, а также изменению времени изготовления. При изготовлении кровельного покрытия зимой возникающие к лету тепловые удлинения, приводящие конструкцию к растяжению, могут частично компенсировать вызываемые усадкой укорочения. При выборе консистенций бетона K_2 и строительстве зимой усадка кровельного покрытия изменяется на — 0,4 мм/м, а температура времени возведения t_0 — на + 2° С. Перерасчет выполняется следующим образом:

Тепловое удлинение $\varepsilon_{т_1}$ (1-я конструкция — кровельное покрытие)

Зима:	Лето:	
$\varepsilon_{т.з_1} = \alpha_т\ (t_{с.з} - t_0)$;	$\varepsilon_{т.л_1} = \alpha_т\ (t_{с.л} - t_0)$;	аналогично п. А1
$\varepsilon_{т.з_1} = 0{,}01\ (17-2)$;	$\varepsilon_{т.л_1} = 0{,}01\ (22-2)$;	
$\varepsilon_{т.з_1} = +0{,}15$ мм/м	$\varepsilon_{т.л_1} = +0{,}2$ мм/м	t_0 — табл. 13
(удлинение)	(удлинение)	

[1] В горизонтальном направлении. (*Прим. перев.*)

Тепловое удлинение $\varepsilon_{т2}$ (2-я конструкция — наружная стена)

Зима:	Лето:	
$\varepsilon_{т.з_2} = \alpha_т (t_{с.з} - t_0)$;	$\varepsilon_{т.л_2} = \alpha_т (t_{с.л} - t_0)$;	См. п. А2, табл. 13
$\varepsilon_{т.з_2} = 0{,}006\ (1-2)$;	$\varepsilon_{т.л_2} = 0{,}006\ (36-2)$;	
$\varepsilon_{т.з_2} = -0{,}006$ мм/м (укорочение)	$\varepsilon_{т.л_2} = +0{,}2$ мм/м (удлинение)	

Удлинение от усадки $\varepsilon_{ус_1}$ (1-я конструкция — кровельное покрытие)

$\varepsilon_{ус_1} = -0{,}4$ мм/м (равно $\varepsilon_{ус.к_1}$) — См. п. А3 табл. 11

Разность удлинений $\Delta\varepsilon$ между кровельным покрытием и стеной

Зима:	Лето:	
$\Delta\varepsilon = (\varepsilon_{ус_1} - \varepsilon_{ус_2}) + (\varepsilon_т - \varepsilon_{т_2})$;	$\Delta\varepsilon = (\varepsilon_{ус_1} - \varepsilon_{ус_2}) + (\varepsilon_{т_1} - \varepsilon_{т_2})$;	См. п. А5
$\Delta\varepsilon = -0{,}4 - 0{,}0 + 0{,}15 + 0{,}06$;	$\Delta\varepsilon = -0{,}4 - 0{,}0 + 0{,}2 - 0{,}2$;	
$\Delta\varepsilon = -0{,}19$ мм/м	$\Delta\varepsilon = -0{,}4$ мм/м	
(Укорочение кровельного покрытия по отношению к стене)	(Укорочение кровельного покрытия по отношению к стене)	

Расчет показал, что возникающие разности удлинений остаются в пределах допустимых значений (от + 0,2 до — 0,4 мм/м). Дальнейшие мероприятия по уходу за бетоном, как это описано в разделе «Указания по конструированию и проектированию», могут еще больше способствовать сокращению все еще значительной доли усадочных удлинений. Следует, однако, категорически предостеречь от того, чтобы эти мероприятия, требующие большого объема ручных операций, выполняемых квалифицированными рабочими, включались в смету. Вследствие этого (как в данном примере) необходимо отказаться от дополнительных конструктивных мероприятий, в частности, от устройства кольцевого анкера и скользящей опоры.

Чтобы окончательно принять решение о конструктивном способе устройства опоры кровельного покрытия, необходимо иметь еще результат расчета сдвига между кровельным покрытием и нижележащим междуэтажным перекрытием (расчет В).

В. Сдвиг между кровельным покрытием и нижележащим междуэтажным перекрытием

1. Тепловое удлинение кровельного покрытия (1-я конструкция)

Зима:	Лето:	
$\varepsilon_{т.з_1} = -0{,}13$ мм/м (укорочение)	$\varepsilon_{т.л_1} = -0{,}08$ мм/м (укорочение)	См. п. А1

2. Тепловое удлинение междуэтажного перекрытия (3-я конструкция)

Условия и материалы

Проверка не требуется [1] $\alpha_т = 0{,}01$ мм/(м·°С)

[1] Комментарий, п. В См. табл. 11

Климатические условия

Зима:

Собственная температура кострукции [1] $t_{с.з} = +20$ °С

Лето:

Температура возведения $t_0 = +30$ °С

Собственная температура $t_{с.л} = +20$ °С[1]

[1] Комментарий, п. В

Температура в сечении конструкции перекрытия

Зима:

$t_{с.з} = +20$ °С (собственная температура)

Лето:

$t_{с.л} = +20$ °С (собственная температура)

Тепловое удлинение $\varepsilon_{т3}$ *(3-я конструкция)*

Зима:

$\varepsilon_{т.з_3} = \alpha_т (t_{с.з} - t_0)$;

$\varepsilon_{т.з_3} = 0{,}01\ (20 - 30)$;

$\varepsilon_{т.з_3} = -0{,}01$ мм/м (укорочение)[2]

Лето:

$\varepsilon_{т.л_3} = \alpha_т (t_{с.л} - t_0)$

$\varepsilon_{т.л_3} = 0{,}01\ (20 - 30)$;

$\varepsilon_{т.л_3} = 0{,}01$ мм/м (укорочение)[2]

См. формулы (45), (46)

См. комментарий, п. В

3. Усадка кровельного покрытия (1-я конструкция)

$\varepsilon_{ус_1} = -0{,}6$ мм/м — из п. А3

4. Усадка междуэтажного перекрытия (3-я конструкция)

$\varepsilon_{ус_3} = -0{,}6$ мм/м (тот же материал и те же условия, что у кровельного покрытия)

5. Сдвиг (tg α) между кровельным и междуэтажным перекрытиями

Зима:

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{1}{H} (\varepsilon_{ус_1} - \varepsilon_{ус_3} + \varepsilon_{т_1} - \varepsilon_{т_3});$$

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{10}{2{,}75} (-0{,}6 + 0{,}6 - 0{,}13 + 0{,}1);$$

$$\operatorname{tg}\gamma = -0{,}11 \text{ мм/м}$$

Лето:

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{1}{H} (\varepsilon_{ус_1} - \varepsilon_{ус_3} + \varepsilon_{т_1} - \varepsilon_{т_3});$$

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{10}{2{,}75} (-0{,}6 + 0{,}6 - 0{,}08 - 0{,}1);$$

$$\operatorname{tg}\gamma = +0{,}07 \text{ мм/м}$$

См. формулу (51), рис. 49, пп.: В1, В2, В3, В4

6. Сравнение $\operatorname{tg} \gamma_{факт}$ и $\operatorname{tg} \gamma_{доп}$

Должно быть:	**Фактически:**	
Зима:	Зима:	
$\operatorname{tg} \gamma = \pm 0,4$ мм/м	$\operatorname{tg} \gamma = -0,11$ мм/м	$\operatorname{tg} \gamma_{макс}$: см. рис. 48
Лето:	Лето:	
$\operatorname{tg} \gamma = \pm 0,4$ мм/м	$\operatorname{tg} \gamma = +0,07$ мм/м	

1. Комментарий

к 1): принято, что здание имеет центральное отопление. Благодаря равномерной температуре в помещении над междуэтажным перекрытием и под ним температура в его сечении одинакова с температурой помещения. Расчет поэтому делать излишне.

к 2): тепловое удлинение междуэтажного перекрытия от момента возведения (t_0 = 30° С) до лета или зимы рассчитывается идентично, так как температура междуэтажного перекрытия (t_c = + 20° С) после ввода здания в эксплуатацию больше не изменяется (см. выше).

Допустимые граничные значения горизонтального сдвига ($\operatorname{tg} \gamma$) не превышаются, поэтому опасности повреждения нет. Это означает, что принятая эффективная длина сдвига l = 10 м не слишком велика.

В комментариях к разделу А расчетного примера (разность удлинений между стеной и кровельным покрытием) было предложено вместо бетона консистенции $К_3$ применять бетон консистенции $К_2$, а также бетонировать покрытие зимой. Эти мероприятия по ограничению разностей удлинений лишь тогда имеют смысл, когда может быть гарантировано, что для междуэтажного перекрытия принята консистенция бетона $К_2$. В противном случае вследствие различной усадки кровельного и междуэтажного перекрытий горизонтальный сдвиг между ними $\operatorname{tg}\gamma$ будет составлять около + 0,62 мм/м зимой и + 0,8 мм/м летом.

С учетом результатов расчетов по разделам А и В складывается следующая ситуация: при тщательном выполнении описанных в комментариях пп. А7 и В7 мероприятий опирание кровельного покрытия можно выполнять без кольцевого анкера и скользящей опоры. Необходимо однако помнить, что к ручным процессам и строительному надзору должны быть предъявлены повышенные требования, поскольку даже при повышенном качестве работ значения разностей удлинений приближаются к предельным. С учетом этого обстоятельства следует отдавать предпочтение варианту с кольцевым анкером и скользящей опорой.

Часть II.

ДНЕВНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Проверка расположения и размера окон. Задание на проверку расположения и размера окон приобретает дополнительную актуальность по двум причинам: 1) геометрические размеры окон оказывают существенное влияние на общую теплозащитную способность внешней оболочки здания, что усугубляется стремлением к экономии энергии и вытекающим отсюда требованием к повышению теплозащиты; 2) в период летних тепловых нагрузок повышение темпера-

туры в помещении пропорционально увеличению площади поверхности окон.

Необходимо указать, что при определении положения и размера окон (наряду с оценкой внешнего вида, функций, конструкций и выбора материалов) следует учитывать требования строительной физики об освещенности, о повышении температуры в помещении.

Для предварительной оценки освещенности необходимо проверить достаточность освещенности при выбранных проектных размерах окон и в случае необходимости скорректировать их с учетом размеров помещений и их назначения. Следующим шагом должно стать более точное определение коэффициента естественной освещенности от диффузного света неба, наружного отражения, внутреннего отражения и светопотерь от остекления, озеленения, загрязнения. Дальше проектируют окна и проверяют их положение с учетом воздействия падающего света на равномерность освещения, блескость и затененность.

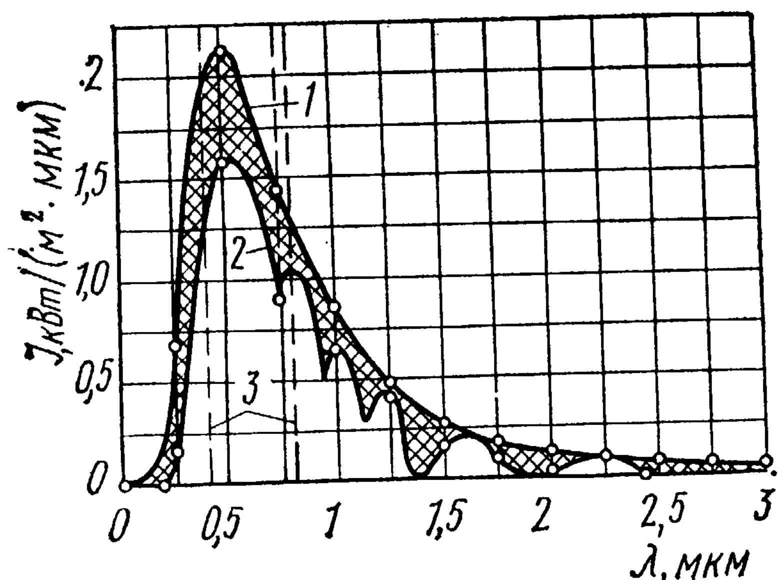
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Понятия и основные величины. 1.1. Солнечное излучение. Интересующая нас область длин волн (рис. 52) достигающего земли солнечного излучения лежит между 0,2 и 3 мкм и делится следующим образом: 0,2—0,38 мкм — ультрафиолетовое излучение; 0,38—0,78 мкм — видимый свет; 0,78—3 мкм — инфракрасное излучение. При этом около 3% приходится на ультрафиолетовое излучение, 44% — на видимый свет и около 53% — на инфракрасное излучение. Максимум интенсивности излучения лежит в области видимого света, т. е. при длине волны порядка 0,5 мкм [44].

Действующее на здание солнечное излучение слагается из прямого излучения (в зависимости от состояния Солнца), рассеиваемой при прохождении через земную атмосферу части излучения, так называемого диффузного излучения, и излучения, которое, отражаясь от зданий, поверхности земли, улиц и т. д., падает на рассматриваемое здание и называется отраженным излучением.

1.2. Дневной свет — искусственный свет. Спектр дневного света имеет относительно равномерное распределение (рис. 53, *а*) отдельных цветов спектра соответствующих длин волн и воспринимается человеком как белый. По этой причине мы видим предметы, освещенные дневным светом, в их естественных красках. В противоположность этому спектральное распределение энергии, например, света ламп накаливания (рис. 53, *б*), сильно возрастает от небольшого участка коротковолнового голубого света к длинноволновым красным участкам спектра. Поэтому краски при освещении лампами накаливания отражаются искаженно, красные краски представляются более яркими, в то время как голубые выглядят слабыми и бледными.

Промышленность предлагает сегодня обширный выбор искусственных источников света, поэтому оказывается возможным с нез-



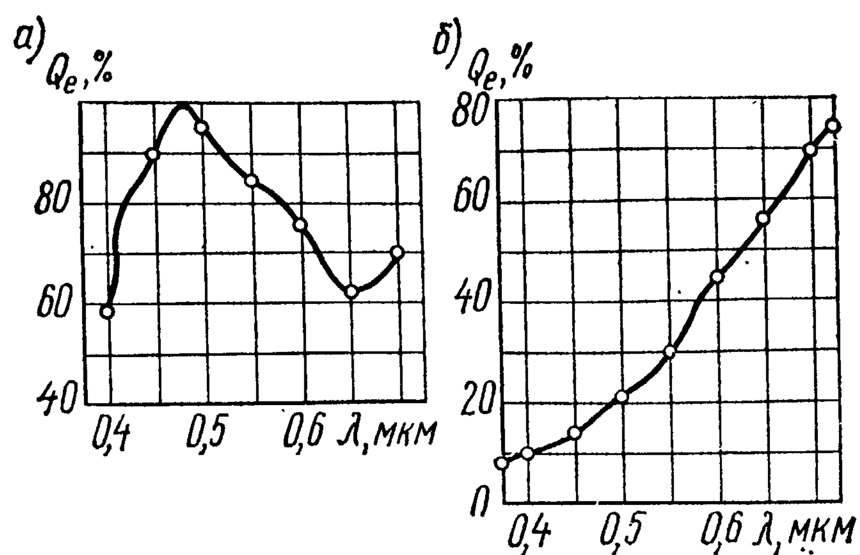


Рис. 52. Интенсивность солнечного излучения [44]

1 — интенсивность J солнечного излучения на границе земной атмосферы в зависимости от длины волн λ (заштрихованная область показывает потери из-за отражения, рассеивания и абсорбции излучения, вызванных содержанием в воздухе водяных паров, углекислого газа и озона, а также частиц пыли и гари); 2 — интенсивность J достигающего земли солнечного излучения; 3 — область видимого света

Рис. 53. Спектральное распределение энергии света: солнечного (а) и от лампы накаливания (б) в зависимости от длины волны λ

начительными отклонениями создать такие соотношения освещенности от искусственных источников света, спектральное распределение энергии которых соответствует дневному свету. По интенсивности освещенности и равномерности искусственное освещение внутренних помещений даже превышает дневное освещение. С помощью искусственных источников света можно обеспечить почти любую интенсивность освещенности с абсолютной равномерностью, в то время как дневной свет подвержен постоянным колебаниям.

Казалось бы, можно вообще отказаться от дневного света и перейти на искусственное освещение внутри помещений и тесно связанное с ним кондиционирование. Этому препятствуют, однако, не только экономические соображения (высокая стоимость изготовления и установки искусственных светильников), но также вредное воздействие искусственного освещения на психику и биологические ритмы жизни человека, глаза и вегетативная нервная система которого подвержены влиянию дневных и сезонных колебаний дневного освещения. Зрительный контакт между внутренним помещением и наружным пространством является поэтому одной из необходимых предпосылок для сохранения здоровья человека [221].

1.3 Основные светотехнические понятия. Прежде, чем перейти к светотехническим соотношениям размеров помещений, необходимо рассмотреть некоторые основные светотехнические величины.

Для характеристики источников света и сравнения их между собой используют понятия поток света и сила света. Оценивая светотехнические соотношения размеров помещений, особенно важно знать то количество света, которое фактически попадает на рабочую поверхность. Для части излучаемого источником света светового потока, которая попадает на определенную поверхность, введено понятие освещенности *E*, единицей измерения которой является люкс (лк).

Освещенность 1 лк создается потоком света в 1 люмен (лм), падающим равномерно на 1 м^2 поверхности. Так как на практике световой поток обычно неравномерно распределяется на поверхности и освещенность ее во всех точках неодинакова, предпочтительнее говорить о средней освещенности:

$$\text{Освещенность } E \text{ (лк)} = \frac{\text{поток света}}{\text{площадь } S}.$$

Одна освещенность не дает еще никакой информации о фактической яркости поверхности. Для этого введено понятие яркости с единицей измерения кандела/м^2 (кд/м^2). Яркость источника света или освещенной поверхности характеризует воспринимаемый глазом соответствующий световой раздражитель и тем самым величину его отпечатка, воспринимаемого мозгом. Источник света (или освещенная поверхность) представляется тем светлее, чем больше излучаемая им в направлении глаза сила света и чем меньше видимая глазом его поверхность.

$$\text{Яркость } L = \frac{\text{сила света } I}{\text{площадь } S \cos \alpha}.$$

Следует обратить внимание на то, что две поверхности из различных материалов (или неодинаковой окраски при равной освещенности) могут показать разную яркость. Причина этого состоит в различной степени отражения этих поверхностей. Таким образом, яркость освещенной поверхности зависит от освещенности и коэффициента отражения этой поверхности.

1.4. Равномерность. Условием хорошей освещенности помещения являются не только абсолютные величины яркостей, но и равномерность их распределения. Если в поле зрения глаза находятся две поверхности различной яркости, то глаз приспосабливается путем сужения зрачка к более светлой поверхности и восприятие яркости более темной поверхности становится меньше.

Равномерность освещенности существенно зависит от: размеров помещения и окон, а также наличия препятствий падающему свету; коэффициентов отражения ограждающих помещение поверхностей, препятствий на пути прохождения света и обстановки помещения, а также вида остекления окон [327].

Равномерность освещения характеризуется отношением самой низкой освещенности в помещении к средней освещенности, измеряемой в горизонтальной базовой плоскости.

1.5. Блескость. Если различие в яркости находящихся рядом одна с другой поверхностей слишком велико, то наступает ослепление. Под ним понимают нарушение остроты зрения глаза из-за абсолютно или относительно слишком большой яркости. Наряду с прямым ослеплением от солнечных лучей ощущение ослепления может наступить и внутри помещения из-за большого контраста между сильной яркостью видимого через окно участка неба и зна-

чительно меньшей яркостью ограждающих помещение поверхностей.

Степень блескости зависит при этом от яркости и величины видимой освещенной поверхности, от отношения этой яркости к яркости окружения или фона, от удаления слепящей поверхности от глаз и ее положения в поле зрения.

1.6. Затененность. Для распознавания вида материала и структуры поверхности предметов необходима некоторая их затененность. Вследствие одностороннего освещения, например при одном небольшом окне, может образоваться слишком сильная и глубокая отраженная или собственная тень. При этом из-за значительного контраста яркостей между освещенной поверхностью и областью отраженной и собственной тени может возникнуть ощущение ослепленности.

1.7. Метеорологические условия. Оценка освещенности дневным светом затруднена в основном из-за того, что источник света — Солнце — подвержен постоянным колебаниям. Кроме того, помещение, наряду с прямым солнечным излучением, освещается светом от ясного или облачного неба, а также светом, отраженным от окружающей обстановки.

Освещенность в помещении и характер освещения изменяются в соответствии с изменениями обстановки снаружи помещения. Поскольку в ФРГ значительно больше дневных часов с облачным, чем с ясным небом, и при облачном небе освещения внутренних помещений дневным светом недостаточно, в DIN 5034 [327] дневной свет определен как диффузный свет от полностью закрытого облаками неба и свободной от снега поверхности земли. Таким образом, очень неопределенное прямое излучение Солнца, а также распределение яркости ясного неба не могут служить в качестве базовых величин для расчетов дневного освещения. При этом распределение яркости облачного неба, служащее характеристикой для источника света, является неравномерным. Относительная яркость L_δ (кд/м^2) облачного неба зависит только от угла подъема δ над горизонтом и определяется по формуле [327]:

$$L_\delta = L_з \frac{1+2\sin\delta}{3}, \qquad (53)$$

где $L_з$ — яркость неба в зените.

От зенита, самой светлой области, до горизонта яркость убывает приблизительно на 1/3 (рис. 54, *а*). Это уменьшение яркости не зависит от положения Солнца. Поэтому при полностью закрытом облаками небе ориентация окон не влияет на освещенность помещения. Напротив, освещенность горизонтальной поверхности на свободном пространстве зависит от высоты Солнца. На рис. 54, *б* показаны ежедневные и сезонные изменения освещенности горизонтальной поверхности на свободном пространстве при равномерно облачном небе.

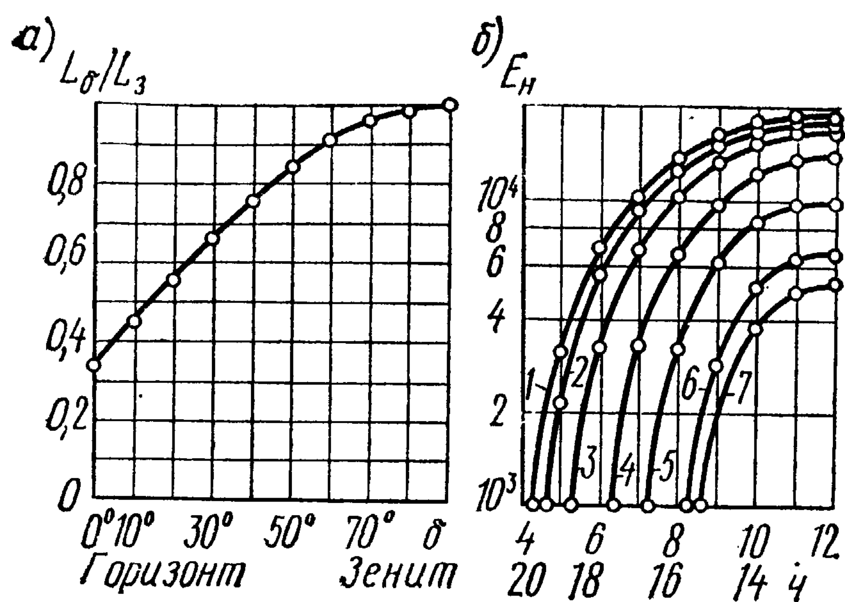


Рис. 54. Распределение яркости облачного неба и изменение средней освещенности горизонтальной поверхности на открытом месте, по DIN 5034 [327]

а — уменьшение яркости облачного неба от зенита к горизонту приблизительно на 1/3; *б* — ежедневное изменение средней освещенности горизонтальной поверхности на открытом месте при равномерно облачном небе для 51° северной широты; *1* — июнь; *2* — май, июль; *3* — апрель, август; *4* — март, сентябрь; *5* — февраль, октябрь; *6* — январь, ноябрь; *7* — декабрь

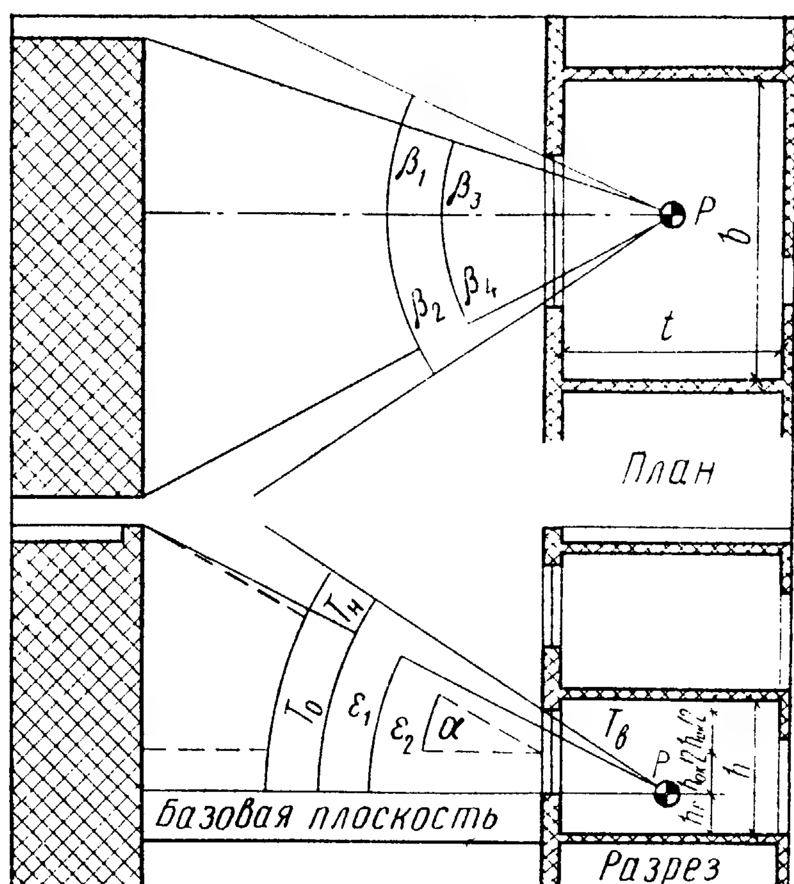


Рис. 55. Геометрические параметры для определения коэффициентов дневного освещения в помещениях с односторонним расположением окон

β_1, β_3 — углы ширины окна и застройки справа; β_2, β_4 — то же, слева; ε_1, ε_2 — углы высоты окна и застройки; α — угол высоты, определяемый удалением застройки; $T_н$ — составляющая коэффициента T от света неба; $T_о$ — составляющая коэффициента T от наружного отражения; $T_в$ — составляющая коэффициента T от внутреннего отражения; h_p — высота точки P

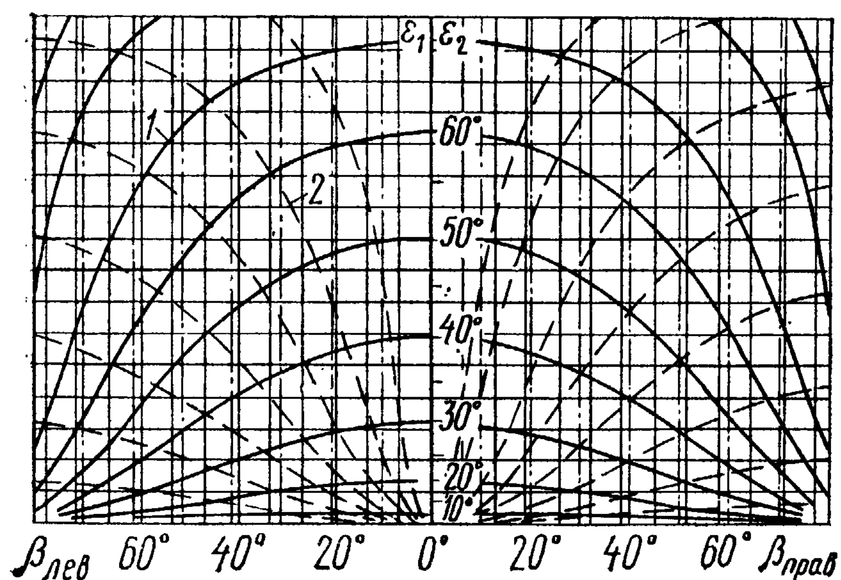


Рис. 56. Диаграмма света неба (уменьшенный сектор) для определения составляющих $T_н$ и $T_о$ по DIN 5034, приложение 1 (328)

$\beta_{лев}$, $\beta_{прав}$ — углы ширины окна и застройки слева и справа; ε_1, ε_2 — углы высоты окна и застройки; *1* — кривая для горизонтального, параллельного плоскости окна, края окна или застройки; *2* — кривая для горизонтального края, перпендикулярного плоскости окна

Максимальная освещенность горизонтальной поверхности в 12 ч дня колеблется между 5300 лк в декабре и почти 20 000 лк в июне.

1.8. Коэффициент естественной освещенности. Создаваемая дневным светом в помещении освещенность линейно зависит от наружной освещенности. Это означает, что если наружная освещенность удваивается, то вдвое повышается также освещенность помещения. Поэтому в DIN 5034 [327] для количественного обозначения освещенности введен коэффициент дневного освещения T, который определен как отношение (%) создаваемой в определенной точке P освещенности $E_р$ к имеющейся при свободном (незастроенном) горизонте освещенности $E_н$:

$$T = \frac{E_р}{E_н} 100\,\% . \qquad (54)$$

Для каждой точки помещения при полностью закрытом облаками небе коэффициент дневного освещения — постоянная величина. Поэтому для проектируемого помещения он может быть определен заранее. Или, наоборот, для каждой базовой точки помещения (базовая плоскость принимается на высоте 0,85 м) и при известных или предварительно заданных коэффициентах $T_р$ для определенного дня или времени года могут быть вычислены освещенности $E_р$. Соответствующие значения освещенности горизонтальной поверхности принимаются по рис. 54, *б*:

$$E_р = T_р\, E_н. \qquad (55)$$

2. Расчет коэффициентов дневного освещения для помещений с прозрачным остеклением боковых окон. По DIN 5034 [327, 328] коэффициент дневного освещения T (%) при окнах в стенах с прозрачным остеклением складывается из доли, вносимой светом неба $T_н$, доли, создаваемой наружным отражением $T_о$, и доли, соответствующей внутреннему отражению $T_в$. Причем используют понижающие коэффициенты, учитывающие ослабление света вследствие остекления, деталей конструкции окна и загрязнения:

$$T = (T_н + T_о + T_в)\, \tau k_1 k_2. \qquad (56)$$

Для определения коэффициентов дневного освещения в помещениях с верхним светом следует обратиться к DIN 5034 [328].

2.1. Коэффициент небесного света $T_н$. Составляющая $T_н$, учитывающая долю небесного света в составе коэффициента дневного освещения, определяется относительно точки наблюдения P непосредственно с помощью видимого из окна сектора неба. При этом действительный сектор неба (рис. 55) может быть уменьшен за счет застройки (соседними или расположенными напротив строениями, консольно выступающими балконными плитами, деревьями и т. д.).

Этот коэффициент определяют по диаграмме небесного света (рис. 56) [328]. На средней ординате диаграммы, разделенной сеткой с ячейками площадью 1 см^2, которые соответствуют значению коэффициента небесного света $T_н = 0{,}1\%$ (переводной коэффициент M), снизу вверх нанесены углы высоты окна $\varepsilon_{ок}$ или застройки $\varepsilon_{застр}$. Эти углы определяются в разрезе (см. рис. 55) как углы между базовой плоскостью, проходящей через точку P, и верхней горизонтальной границей соответственно окна или застройки.

Горизонталь, параллельная расположенному в плоскости окна его краю или застройке, изображена кривой *1* диаграммы. Кривая *2* соответствует горизонтальному краю, который перпендикулярен плоскости окна.

Налево и направо от средней ординаты по оси абсцисс отложены углы ширины окна $\beta_{ок}$ или застройки $\beta_{застр}$. Углы ширины $\beta_{ок.\,лев}$ или $\beta_{застр.\,лев}$ и $\beta_{ок.\,прав}$ или $\beta_{застр.\,прав}$ определяются в плане (см. рис. 55) как углы между плоскостью, нормальной к стене с окном, проходящей через точку P, и вертикальной плоскостью, проходящей через ту же точку P и боковую грань окна или распо-

ложенного напротив здания. При этом вертикальные грани изображаются на диаграмме также вертикально.

Подсчетом числа ячеек сетки или планиметрированием определяют площадь сектора неба, который виден из точки P с учетом застройки, и после перемножения этой площади $S_н$ с коэффициентом пересчета M получают составляющую небесного света $T_н$:

$$T_н = S_н M. \tag{57}$$

2.2. Коэффициент наружного отражения $T_о$. Составная часть коэффициента дневного света, учитывающая наружное отражение $T_о$, образуется отраженным от застройки светом. Ее величина зависит от видимой через оконный проем площади застройки и от ее коэффициента отражения.

Составляющая наружного отражения $T_о$ (%) определяется аналогично составляющей небесного света $T_н$. По диаграмме небесного света определяется площадь $S_з$ застройки, которая видна через окно из точки P, и умножается на коэффициент пересчета M и коэффициент 0,15. При этом исходят из того, что яркость застройки составляет 15% скрытой ею яркости неба, поэтому коэффициент равен 0,15:

$$T_о = S_з M \cdot 0{,}15. \tag{58}$$

2.3. Коэффициент внутреннего отражения $T_в$. Составляющая внутреннего отражения $T_в$ определяется проникающими через окно лучами света, отраженными от ограждающих помещение поверхностей на полезную плоскость. Поэтому она зависит в основном от коэффициентов отражения ограждающих помещение плоскостей и отношения площади окна к общей поверхности помещения.

Составляющая внутреннего отражения $T_в$ упрощенно рассчитывается как среднее значение для полезной площади:

$$T_в = \frac{b_{ок}\, h_{ок}}{S_п} \eta_п f \cdot 100, \tag{59}$$

где $b_{ок}$ — ширина окна (по размеру проема); $h_{ок}$ — высота окна (по размеру проема); $S_п$ — поверхность помещения (сумма площадей поверхностей, ограничивающих помещение); $\eta_п$ — коэффициент стереоскопического эффекта помещения, зависящий от отношения площади стен $S_{ст}$ к общей поверхности помещения $S_п$ и коэффициенту отражения света $\rho_{ст}$. Если коэффициент отражения потолка $\rho_п$ принять равным 0,7, пола $\rho_{пол}$ — 0,15, окна $\rho_{ок}$ — 0,15 и отношение площадей как $S_{ст}/S_п$, то значение коэффициента стереоскопического эффекта $\eta_п$ при известном коэффициенте отражения $\rho_{ст}$ стены может быть определено по графику на рис. 57, *б*; f — фактор окна, т. е. отношение вертикальной яркости $E_в$, на поверхности окна, к горизонтальной яркости $E_н$ вне помещения в зависимости от угла α, определяющего положение застройки (см. рис. 55), измеряемого от середины окна.

Значения факторов окна могут быть приняты по рис. 57, *а*.

2.4. Факторы ослабления света. Три компонента коэффициента дневного света $T_н$, $T_о$ и $T_в$ рассчитываются сначала для строительного размера окна, а потери света от остекления, конструкции переплетов (рам и импостов), занимающих часть общей площади окна,

и из-за загрязнения стекол, учитываются применением коэффициентов, ослабляющих свет: τ, k_1 и k_2 [уравнение (56)].

При этом: τ — коэффициент светопропускания остекления для нормального светлого плоского стекла при одинарном остеклении принимается равным 0,9, при двойном остеклении — 0,8 (для особого, например солнцезащитного, остекления его значение может быть снижено до 0,3); k_1 — понижающий коэффициент для конструктивной части (рам и импостов) окна, определяется из отношения площади стекла к общей площади окна (по строительному размеру проема):

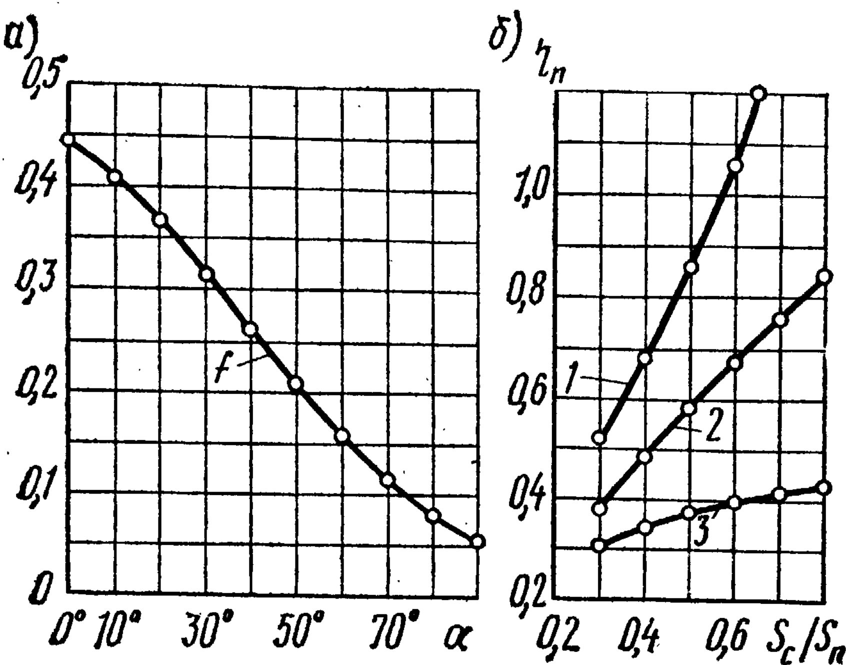


Рис. 57. Фактор окна f и коэффициент стереоскопического эффекта помещения $\eta_п$ по DIN 5034, приложение 1 (328)

а — факторы окна f в зависимости от угла, определяемого удалением застройки α; *б* — коэффициент стереоскопического эффекта помещения $\eta_п$ в зависимости от отношения площади стены S_c к общей площади поверхности помещения $S_п$ для различных коэффициентов отражения стены ρ_c; *1* — $\rho_c=0,7$ (светлая); *2* — $\rho_c=0,5$ (средняя); *3* — $\rho_c=0,3$ (темная)

$$k_1=\frac{h_{ок}\,b_{ок}-S_к}{h_{ок}\,b_{ок}}=1-\frac{S_к}{h_{ок}\,b_{ок}}, \qquad (60)$$

где $S_к$ — площадь конструктивных элементов; $h_{ок}$ — высота окна (по размеру проема); $b_{ок}$ — ширина окна (по размеру проема); k_2 — коэффициент загрязнения остекления (табл. 14), зависящий от местных условий и назначения помещения (для жилых помещений при расчетах может быть принято значение $k_2 = 0,9$).

3. **Упрощенное определение светотехнически достаточных размеров окна.** В приложении 2 DIN 5034 [329] в табличной форме приведены данные о светотехнически достаточной ширине окна $b_{ок}$ для различных условий и значения коэффициента дневного света $T = 1\%$, в том числе в зависимости от угла просвета застройки α (отношение высоты застройки $h_з$ к расстоянию до нее $t_з$), от высоты окна $h_{ок}$ и помещения h, ширины помещения b и различной глубины помещения t. Приведенные в таблице данные определены: для жилых помещений — на расстоянии 1 м от боковой стены и на половине глубины помещения; для рабочих помещений — в удаленном от окна углу на расстоянии 1 м от задней и боковой стен.

ТАБЛИЦА 14. ОСЛАБЛЯЮЩИЙ ФАКТОР k_2 ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ОКНА DIN 5034 [327]

Загрязнение поверхности окна		k_2
наружной	внутренней	
Небольшое	Небольшое	0,8
	Сильное	0,6
Среднее	Небольшое	0,7
	Сильное	0,5
Сильное	Небольшое	0,6
	Сильное	0,4

УКАЗАНИЯ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ

1. Расположение окон. Соотношение освещенностей в помещении в большой мере зависит от расположения окон. Рис. 58 показывает, что хотя при повышенном расположении окна коэффициент дневного освещения, а следовательно, освещенность в близкой к окну зоне уменьшается, в удаленной от окна зоне она увеличивается. Тем не менее равномерное освещение все-таки предпочтительнее. Верхняя кромка окна должна быть поэтому расположена как можно выше, на расстоянии не менее 2 м от уровня пола (возможность для обзора из окна в положении стоя). При этом должны быть приняты во внимание требуемые конструктивные высоты для установки жалюзи и других солнцезащитных устройств.

Высота подоконника должна быть не более 1 м (для обеспечения обзора из окна в сидячем положении).

Следует обратить внимание на то, чтобы требуемые с точки зрения светотехники поверхности окон были равномерно распределены по наружной стене и чтобы высота и ширина окон по отношению к площади наружных стен не были слишком малы, иначе может ухудшиться равномерность освещения и возникнуть излишнее затенение [327].

При двухстороннем расположении окон освещенность помещения улучшается, поскольку суммируются освещенности, создаваемые каждым окном в отдельности. Область с наименьшими коэффициентами дневного освещения (рис. 59) сдвигается при этом к середине помещения. Таким образом увеличивается его полезная глубина.

Горизонтально расположенные окна верхнего света при большей равномерности освещения обеспечивают бо́льшие значения коэффициентов дневного освещения, чем окна, расположенные в боковых стенах, если расстояние между ними не больше двойного расстояния между рабочей поверхностью и нижней поверхностью потолка. Следует, однако, указать на повышенное солнечное излучение летом, затруднения при устройстве солнцезащиты и сильную загрязняемость верхних окон [327].

2. Застройка. Застройка территории зданиями, наличие складчатого рельефа местности, посадка зеленых насаждений уменьшают освещенность горизонтальных поверхностей в помещениях с боковым светом и вертикальными окнами. Это влияние следует учитывать в расчетах по определению коэффициентов дневного света. Кроме того, необходимо иметь в виду, что видимая из базовой точки часть неба уменьшается при наличии расположенных перед окнами балконов, лоджий, постоянных солнцезащитных устройств. Поэтому для определения углов высоты и ширины окна (см. рис. 55) исходят из положения видимого из базовой точки края этого препятствия. При величине угла α, определяемого расстоянием застройки (см. рис. 55), более 25—30° освещенность существенно умень-

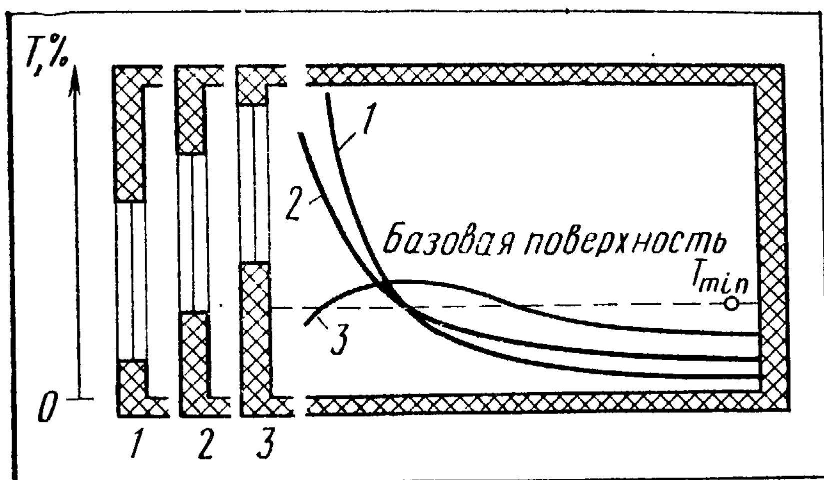


Рис. 58. Коэффициенты дневного освещения на рабочей поверхности для помещений с разной высотой расположения окон (1, 2, 3). При одностороннем расположении окон по мере удаления от окна коэффициенты дневного освещения уменьшаются. Чем выше расположены окна, тем коэффициенты дневного освещения в удаленной от окна зоне становятся больше, а равномерность освещения лучше

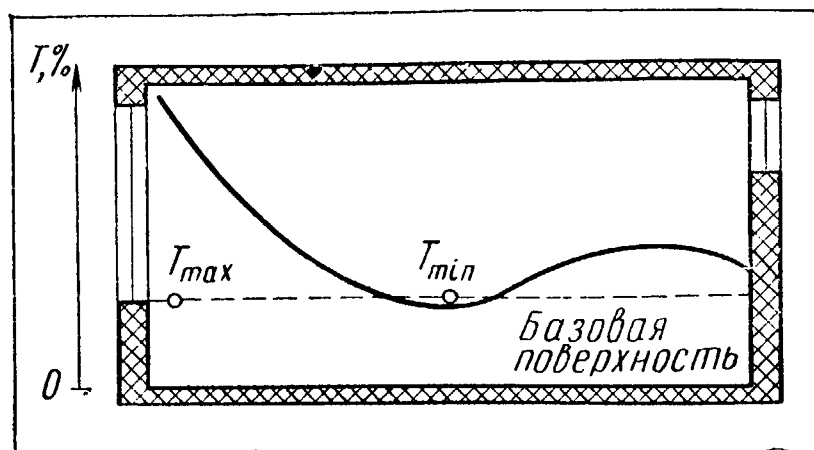


Рис. 59. Коэффициенты дневного освещения T на рабочей поверхности для помещений с двухсторонним расположением окон. В этом случае область с наименьшими коэффициентами дневного освещения смещается к середине. Полезная глубина помещений увеличивается.

шается. Это можно частично компенсировать увеличением высоты и ширины окна. В соответствии со строительными нормами земель Федеративной Республики Германии для обеспечения достаточного дневного освещения общих комнат следует безусловно выдерживать минимально допустимые расстояния от расположенной напротив застройки или площади открытых пространств перед окнами общих комнат. При отступлениях от них достаточную освещенность дневным светом следует по возможности обосновывать расчетом коэффициентов дневного света.

В помещениях с верхним светом влияние застройки незначительно или вообще отсутствует.

3. Размеры помещения. В помещениях, которые освещаются с одной стороны дневным светом через вертикально расположенное окно, освещенность горизонтальных поверхностей сильно уменьшается по мере увеличения расстояния от стены с окном. При наличии застройки этот отрицательный эффект еще больше усиливается.

При обычной в жилых зданиях высоте помещений от 2,5 до 3 м, а также в зависимости от ширины помещения и вида застройки глубина помещений лимитируется светотехническими условиями и составляет 4—6 м. Бóльшая глубина помещений возможна лишь при двухстороннем расположении окон, при устройстве верхнего света или при установке постоянных дополнительных источников дневного освещения [327].

Если размеры окон определяются конструктивной системой здания или решением фасада, то для обеспечения достаточного освещения дневным светом эти размеры можно принять по соответствующим таблицам DIN 5034 [329].

Помещения с верхним светом не имеют никаких ограничений относительно размеров.

4. Коэффициент дневного света. Коэффициент дневного света в помещениях с боковым расположением окон уменьшается по мере

удаления от окон. Поэтому рабочие места следует располагать вблизи окон с учетом направления падения света (например, письменный стол рекомендуется располагать слева). Следует учесть, что из-за слишком высоких подоконников условия освещенности вблизи окна сильно ухудшаются. Освещенность всего помещения определяется составляющей небесного света $T_н$, поэтому каждое окно должно пропускать как можно больше прямого дневного света. Для окраски расположенных рядом и внутренних поверхностей глубоких помещений следует применять составы светлых оттенков, поскольку за счет их высокой отражающей способности дополнительно повышается коэффициент дневного света. В зависимости от обстоятельств следует предусматривать достаточную защиту от блескости.

5. Равномерность освещения. Требуемая равномерность освещения может быть достигнута с помощью следующих конструктивных мероприятий [327]: двух-или многостороннее расположение окон; применение горизонтальных и вертикальных жестко закрепленных и подвижных козырьков, располагаемых перед окнами и за ними; соответствующее расположение окон (равномерное распределение их на наружной стене); применение светонаправляющих стекол; использование ограждений и оборудования с высокой отражающей способностью.

В помещениях с верхним светом достигается хорошая равномерность освещения, если световые проемы распределяются равномерно по всей площади потолка.

6. Блескость. Следует избегать блеска как солнечного прямого, так и отраженного, например от полированных полов, а также слишком большого контраста яркости поверхностей: светлых окон в темном обрамлении, черных досок на белой стене, белых стен рядом с темными полами, отражающих свет полированных поверхностей столов.

Распределение света считается хорошим, если в поле зрения, то есть под углом 30—45°, в зависимости от назначения помещения, не попадает никаких резких контрастов яркости. Как правило, соотношение яркости между видимым объектом и соседней поверхностью не должно превышать 1 : 3, между видимым объектом и далеко расположенными поверхностями — 1 : 10. При необходимости следует предусматривать установку дополнительного дневного освещения.

7. Затененность и направление падения света. При боковом падении дневного света в помещениях с боковыми окнами достаточная затененность, как правило, гарантируется. Рабочие места должны быть организованы так, чтобы тень от руки или корпуса тела не падала на рабочую поверхность. Слишком резкая от посторонних предметов и собственная тени, а также слишком резкие края тени могут быть существенно смягчены двухсторонним расположением окон, при котором игра теней остается, и (или) за счет высокой отражающей способности всех ограничивающих помещение поверхностей.

ТРЕБОВАНИЯ И ОЦЕНКА

Требования к достаточной естественной освещенности закреплены в строительных правилах земель Федеративной Республики Германии. Строительными правилами земли Северный Рейн — Вестфалия предписано, что общие комнаты должны иметь выходящие непосредственно наружу и расположенные вертикально окна в таком числе, таких размеров и качества, чтобы помещения могли быть в достаточной мере освещены и проветрены (необходимые окна). Качество освещения зависит, наряду с отсутствием блескости и затененности, от значения коэффициентов естественной освещенности и равномерности распределения яркости в помещении.

Коэффициенты естественной освещенности. В соответствии с назначением помещения и зрительными задачами различают требования к освещенности во внутренних помещениях и тем самым к величинам коэффициентов естественной освещенности. В жилых помещениях требуется меньшая освещенность, чем в рабочих. DIN 5034 [327] предписывает, чтобы в жилых помещениях с односторонним расположением окон на базовой поверхности (0,85 м от уровня пола) на половине глубины помещения и на расстоянии 1 м от боковой стены коэффициент естественной освещенности был не менее 1%. Для жилых помещений, которые соответствуют этому требованию, в прил. 2 DIN 5034 [329] приведены минимально необходимые размеры окон. При расчетах коэффициента естественной освещенности средний коэффициент отражения ограждающих помещение поверхностей принимается равным 0,3.

В рабочих помещениях коэффициент естественной освещенности в наиболее удаленном углу на расстоянии 1 м от задней и боковой стен, т. е. в наиболее неблагоприятном месте, также должен составлять не менее 1%. В прил. 2 DIN 5034 также приведены достаточные для удовлетворения этого требования размеры окон. При многостороннем расположении окон минимальное значение повышается до 2%, чтобы избежать устройства слишком маленьких окон и тем самым явлений блескости.

Рекомендуются следующие значения коэффициентов отражения ρ: потолка — 0,7—0,8; стен — 0,5—0,6; полов — 0,15—0,3; столов — примерно 0,4.

Такие значения коэффициентов естественной освещенности обеспечивают в жилых помещениях хорошие пропорции и рациональные размеры окон. В рабочих и учебных помещениях требуемую освещенность и, следовательно, коэффициент естественной освещенности следует определять прежде всего в зависимости от поставленных зрительных задач (табл. 15) [330].

На рис. 55 приведены значения освещенности в зависимости от заданной видимости. При этом надо обратить внимание на то, что требования могут быть столь высоки, что их нельзя удовлетворить только освещением дневным светом.

ТАБЛИЦА 15. НЕОБХОДИМАЯ ОСВЕЩЕННОСТЬ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ЗРИТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ. DIN 5035 [330]

Степень	Номинальная освещенность E, лк	Условие зрительной задачи (специальные рекомендации см. DIN 5035, с. 2)
1	15	
2	30	Ориентация, только временное пребывание людей
3	60	
4	120	Легкие зрительные задачи, крупные детали с высокой контрастностью
5	250	
6	500	Нормальные зрительные задачи, детали средней величины со средней контрастностью
7	750	
8	1000	Тяжелые зрительные задачи, мелкие детали с небольшой контрастностью
9	1500	
10	2000	Очень тяжелые зрительные задачи, очень мелкие детали с малой контрастностью
11	3000	
12	5000 и более	Особые случаи, например освещение операционного поля

Помещения с верхним светом вследствие других направлений падения света и связанного с этим иного распределения яркости требуют более высоких коэффициентов естественной освещенности, чем помещения с боковыми окнами. Минимальные значения средних коэффициентов естественной освещенности $T_{ср}$ колеблются между 7% при прозрачном и 4% при сильно рассеивающем свет остеклении [327]. Значения более 10% для верхнего остекления принимаются редко.

2. Равномерность освещения. Отношение наименьшего значения коэффициента естественной освещенности $T_{мин}$ к наибольшему $T_{макс}$ для рабочих и учебных помещений при одностороннем расположении окон не должно превышать 1 : 6 [327]:

$$g_1 = \frac{T_{мин}}{T_{макс}} = \frac{1}{6}. \quad (61)$$

В помещениях с верхним светом к равномерности освещения предъявляются более высокие требования. Отношение наименьшего $T_{мин}$ к среднему значению $T_{ср}$ не должно превышать 1 : 2:

$$g_2 = \frac{T_{мин}}{T_{ср}} = \frac{1}{2}, \quad (62)$$

При известных условиях для достижения такой равномерности необходимо дополнение дневного света искусственным [327].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

15, 27, 44, 46, 48, 58, 64, 79, 101, 111, 124, 125, 126, 127, 220, 221, 261, 294, 300, 314, 327, 328, 329, 330, 334.

ПРИМЕР

ПРОВЕРКА ДОСТАТОЧНОСТИ ОСВЕЩЕНИЯ ДНЕВНЫМ СВЕТОМ ДЛЯ ПОМЕЩЕНИЙ С ОДНОСТОРОННИМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ОКОН И ПРОЗРАЧНЫМ ОСТЕКЛЕНИЕМ

Задание. Имеется жилое помещение с расположенной напротив (параллельно фронту его окна) застройкой (рис. 60, *а*) различной высоты. Необходимо определить коэффициент естественной освещенности T в точке P.

Размеры помещения и окна (строительный размер) следующие (рис. 60, *б*): ширина b — 5,385 м, глубина t — 4,26 м, высота h — 2,55 м, высота окна $h_{ок}$ — 1,5 м, ширина окна $b_{ок}$ — (2,01 + 0,49 + 2,01) = 4,51 м.

Для упрощения ширины стойки между двумя окнами (при ее ширине до 0,5 м) может быть засчитана как ширина окна. Возникающие вследствие этого потери света учитываются вместе с потерями от конструктивных элементов окна.

Коэффициент естественной освещенности T вычисляется как сумма его отдельных компонентов, уменьшенная снижающими освещение факторами: остеклением, конструктивными элементами окон и загрязнением.

Решение.

1. Определение составляющей небесного света $T_н$

1.1. Установление базовой точки P рассматриваемого жилого помещения в плане и разрезе на основании DIN 5034. Для расчета коэффициента естественной освещенности T для жилых помещений с односторонним расположением окон базовая точка наблюдения P находится на половине глубины помещения $t_р$ и на расстоянии 1 м от боковой стены $b_к$. Высота базовой плоскости $h_р$ принимается равной 0,85 м над уровнем пола, т. е. $t_р$=2,13 м, $b_р$=1 м, $h_р$=0,85.

См. рис. 60, *б*

См. рис. 60, *б*

1.2. Определение отображения окна или застройки на диаграмме небесного света. 1.2.1. Определение углов ширины окна $\beta_{\text{ок}_{\text{лев}}}$ и $\beta_{\text{ок}_{\text{прав}}}$ в плане и перенос их на диаграмму небесного света. Углы ширины окна $\beta_{\text{ок}_{\text{лев}}}$ и $\beta_{\text{ок}_{\text{прав}}}$ определяются в плане как углы между перпендикуляром к поверхности стены с окном, проходящим через точку P, и вертикальными гранями оконного проема и наносятся на абсциссу диаграммы небесного света. Перпендикулярные края проема отображаются также перпендикулярно; $\beta_{\text{ок}_{\text{лев}}}=58°$, $\beta_{\text{ок}_{\text{прав}}}=13°$. См. рис. 60, *б*, *в*

1.2.2. Определение угла высоты окна $\varepsilon_{\text{ок}}$ в разрезе и перенос его на диаграмму небесного света. Угол высоты окна $\varepsilon_{\text{ок}}$ определяется в разрезе как угол между базовой плоскостью и верхней горизонтальной гранью оконного проема (оконной перемычкой) и наносится на ординату диаграммы небесного света. Горизонтальные краю окна изображаются затем кривой *1*. Промежуточные кривые следует интерполировать $\varepsilon_{\text{ок}}=30°$. См. рис. 60, *б*, *в*

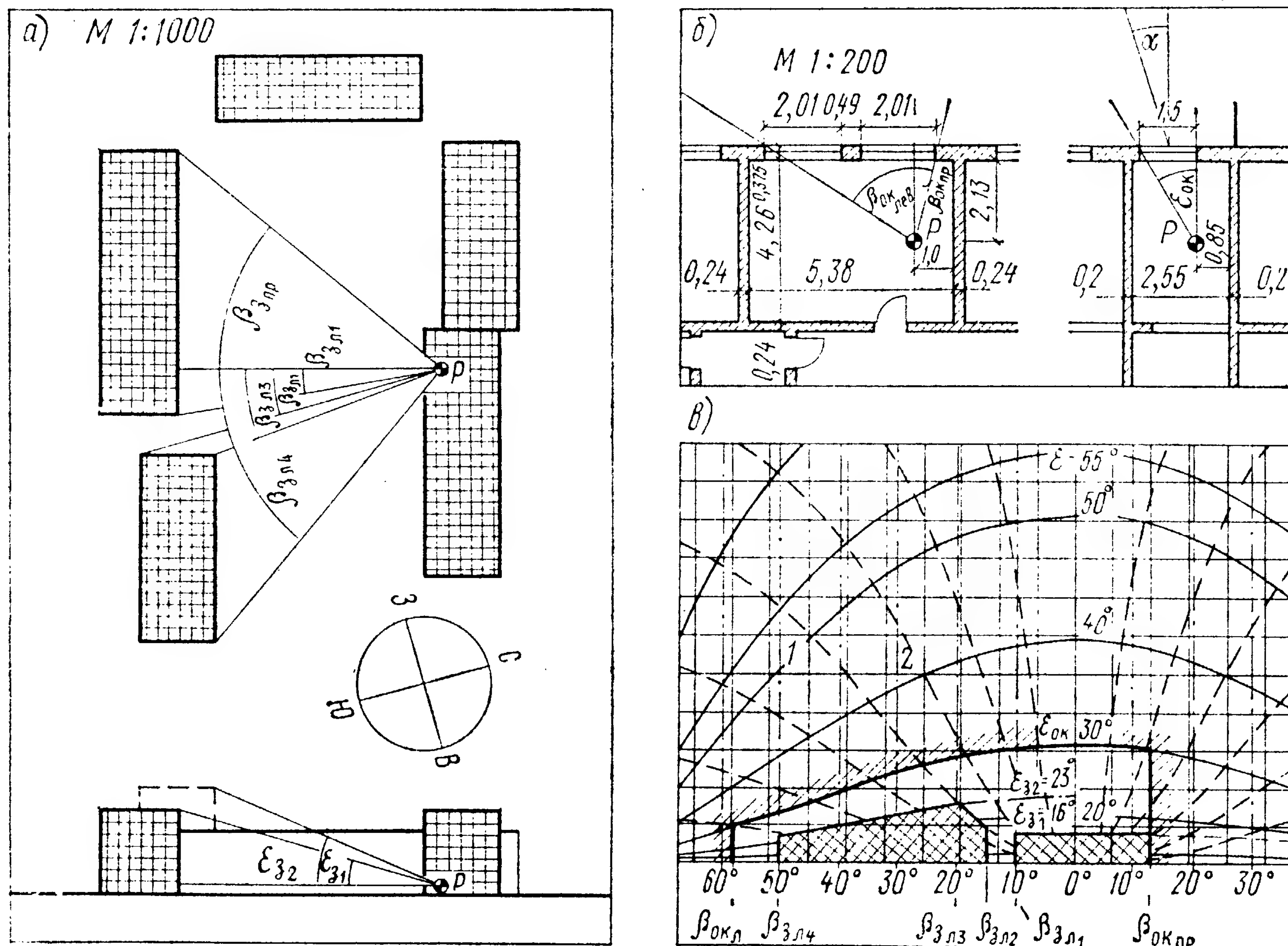


Рис. 60. Определение составляющих небесного света $T_{\text{н}}$ и наружного отражения $T_{\text{о}}$

а — ситуационный план и вертикальная проекция М 1 : 1000. Углы ширины застройки: $\beta_{\text{зл}_1}=10°$, $\beta_{\text{зл}_2}=15°$, $\beta_{\text{зл}_3}=20°$, $\beta_{\text{зл}_4}=50°$ $\beta_{\text{з}_{\text{пр}}}=39°$. Углы высоты застройки: $\varepsilon_{\text{з}_1}=16°$, $\varepsilon_{\text{з}_2}=23°$; *б*—план и разрез М 1 : 200. Углы ширины окна: $\beta_{\text{ок}_{\text{л}}}=58°$, $\beta_{\text{ок}_{\text{пр}}}=13°$, угол высоты застройки от плоскости окна $\varepsilon_{\text{ок}}=30°$, угол удаления застройки $\alpha=16{,}5°$; *в* — изображения окна и видимой через окно из точки P застройки в диаграмме света неба *1*, *2* — см. рис. 56

1.2.3. Определение углов ширины застройки. $\beta_{з_{лев}}$ и $\beta_{з_{прав}}$ в плане и перенос их на диаграмму небесного света. Углы ширины застройки $\beta_{з_{лев}}$ и $\beta_{з_{прав}}$ определяются в плане аналогично углам ширины окна. На диаграмму наносят перпендикулярные края застройки.

$\beta_{з_{лев_1}}=10°$; $\beta_{з_{лев_2}}=15°$; $\beta_{з_{лев_3}}=20°$; $\beta_{з_{лев_4}}=50°$; $\beta_{з_{прав}}=39°$. — См. рис. 60, *б*, *в*

1.2.4. Определение угла высоты застройки $\varepsilon_з$ по данным о высотах в плане и перенос их на диаграмму небесного света. Угол высоты застройки $\varepsilon_з$ определяется в направлении, перпендикулярном плоскости окна, как угол между базовой плоскостью и линией, проходящей через верхнюю горизонтальную границу застройки (параллельно плоскости окна) и базовую точку *P*. Горизонтальные края застройки наносят затем на диаграмму небесного света в виде кривой *1*. — См. рис. 60, *а*, *в*

$\varepsilon_{з_1}=16°$; $\varepsilon_{з_2}=23°$.

1.2.5. Перенос проходящих перпендикулярно плоскости окна границ застройки на диаграмму небесного света. Края застройки, перпендикулярные плоскости окна, изображаются кривой *2*, на диаграмме небесного света. Так получают изображения окна и видимой из базовой точки через окно застройки на диаграмме небесного света. — См. рис. 60, *в*

1.3. Определение видимого через окна сектора неба $S_н$. Вначале подсчетом охватываемого очертанием окна числа единиц сетки (ЕС) диаграммы небесного света следует установить площадь окна $S_{ок}$. После вычета определенной тем же способом и расположенной внутри очертания окна площади застройки $S_з$ остается площадь видимого через окно сектора неба $S_н$.

Площадь окна $S_{ок}=27$ ЕС. — См. рис. 60, *в*

Площадь застройки $S_з=9{,}4$ ЕС.

Площадь оставшегося сектора неба $S_н=17{,}6$ ЕС.

1.4. Вычисление доли небесного света $T_н$. Доля небесного света $T_н$ определяется умножением площади $S_н$ на переводной коэффициент $M=0{,}1\%$.

$$S_н=17{,}6\ \text{ЕС};\ M=0{,}1\%;$$

$$T_н=S_нM=17{,}6\cdot 0{,}1=1{,}76\%.$$

2. Определение доли наружного отражения $T_о$

Умножением определенной по диаграмме дневного света площади застройки $S_з$ на переводной коэффициент M ($M=0{,}1$) и коэффициент яркости 0,15 получаем долю наружного отражения $T_о$:

$S_з=9{,}4$ ЕС; $T_о=S_зM\cdot 0{,}15=9{,}4\cdot 0{,}1\cdot 0{,}15=0{,}14\%$.

3. Определение средней доли внутреннего отражения $T_в$

3.1. Вычисление общей площади стены $S_{ст}$ и общей площади помещения $S_п$:

$S_{ст}=2(bh+th)=2(5{,}385\cdot 2{,}55+4{,}26\cdot 2{,}55)$;

$S_{ст}=49{,}19$ м²;

$S_п=2(bt+bh+th)$;

$S_п=2(5{,}385\cdot 4{,}26+5{,}385\cdot 2{,}55+4{,}26\cdot 2{,}55)$;

$S_п=95{,}07$ м².

3.2. Определение коэффициента стереоскопического эффекта $\eta_п$. Следует составить отношение площади стены $S_{ст}$ к площади помещения $S_п$ и установить коэффициент отражения стен $\rho_{ст}$. После этого значение коэффициента стереоскопического эффекта может быть определено по диаграмме на рис. 57, *б*:

$$\frac{S_{ст}}{S_п}=\frac{49,19}{95,07}=0,52;$$

$\rho_{ст}=0,5$ (средняя яркость стены); — См. рис. 57, *б*

$$\eta_п=0,61.$$

3.3. Определение фактора окна f. В зависимости от угла расстояния застройки α, который определяется как угол между горизонтальной плоскостью, проходящей через середину окна, и плоскостью, проходящей через верхний край расположенной напротив застройки и середину окна. Фактор окна f может быть определен по диаграмме на рис. 57, *а*:

$$\alpha=16^0;\ f=0,39.$$

См. рис. 60, *б* и 57, *а*

3.4. Вычисление средней доли внутреннего отражения $T_п$. Доля внутреннего отражения $T_п$ определяется по формуле

$$T_п=\frac{b_{ок}\,h_{ок}}{S_п}\,\eta_п\,f\cdot 100\ (\%),\quad T_п=\frac{4,51\cdot 1,5}{95,07}\,0,61\cdot 0,39\times$$

$$\times 100=1,69\,\%.$$

См. формулу (59)

4. Определение коэффициентов ослабления света

4.1. Коэффициент светопропускания τ. При двойном остеклении для коэффициента светопропускания τ установлено значение 0,8.

4.2. Коэффициент ослабления k_1 для конструкционной части окна

$$k_1=1-\frac{S_к}{b_{ок}\,h_{ок}},$$

См. формулу (60)

где $S_к$ — площадь конструкционной части окна (рамы и переплеты). Необходимо также прибавить площадь простенков между окнами, так как для упрощения определения доли небесного света они включены в площадь окон:

$$S_к=2м^2;$$

$$k_1=1-\frac{2}{4,51\cdot 1,5}=0,7.$$

4.3. Коэффициент загрязнения остекления k_2. Для жилых помещений коэффициент загрязнения может быть принят равным 0,9. — См. табл. 14

5. **Коэффициент естественной освещенности** T рассчитывается по формуле (56):

$$T=(T_0+T_з+T_в)\,\tau\,K_1\,K_2;$$
$$T_{дн}=(1{,}76+0{,}14+1{,}69)\,0{,}8\cdot0{,}7\cdot0{,}9;$$
$$T_{дн}=1{,}81\ \%.$$

См. формулу (56)

6. **Заключение.** Для жилых помещений DIN 5034 требует, чтобы значения коэффициента естественной освещенности были не менее 1%. Полученное в приведенном здесь примере значение этого коэффициента намного выше. Для рабочих и учебных помещений значение $T=1{,}81\%$ было бы достаточным, однако оно соответствовало бы минимальным требованиям к освещенности.

См. с. 101

Относительно равномерности освещенности для жилых помещений не установлено никаких конкретных требований, однако следует обратить внимание на то, что не должно быть слишком больших контрастов яркости между прямо освещенными солнцем частями помещения и неосвещенными частями, которые могли бы привести к ослеплению. Прямого ослепления солнцем допускать нельзя.

См. с. 100

ИНСОЛЯЦИЯ

ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Включение проверки вида, длительности и интенсивности инсоляции зданий и поверхности территории в проектирование безусловно необходимо, но, исходя из опыта авторов, чаще всего такая проверка не производится вовсе или производится недостаточно. Проверке размера тепловой нагрузки помещений вообще не уделяют достаточного внимания.

В отношении инсоляции и солнцезащиты ставятся следующие проектные задачи. На ранней стадии проектирования здания для предназначенной к застройке территории следует определить длительность инсоляции и затенения, а также расположение освещенных солнцем и затененных зон (с. 114). Затем необходимо определить инсоляцию и затенение фасадов при включении застройки. Далее определяют наивысшую допустимую энергетическую проницаемость окон для предотвращения слишком высоких внутренних температур. При этом учитывается влияние таких факторов, как площадь окон и ограждающих помещение конструкции.

Если из-за превышения допустимой энергетической проницаемости образуются значительные тепловые нагрузки внутри помещения, то необходимо предусмотреть мероприятия по солнцезащите. При этом последовательно должны быть проверены с точки зрения влияния на солнцезащиту такие приемы, как ориентация здания, очертание плана, уменьшение размера и энергетической проницае-

мости окон, повышение теплоаккумулирующей способности ограждающих помещение конструкций.

При обеспечении достаточного снижения тепловой нагрузки (без негативного влияния на общую проектную концепцию) можно этими мероприятиями ограничиться. В противном случае разрабатываются конструктивные солнцезащитные устройства с включением при необходимости солнцезащитного остекления. Вентиляция и кондиционирование предусматриваются только в связи с указанными выше мероприятиями конструктивной солнцезащиты, даже если по другим причинам кондиционирование здания и может оказаться необходимым. Проектирование вентиляции и кондиционирования обычно поручается инженеру — специалисту по теплоснабжению и вентиляции.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Диаграмма положения Солнца. Вследствие движения Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца происходят сезонные и суточные изменения высоты положения Солнца. Благодаря этому в соответствии с географической широтой в течение года изменяются угол излучения и продолжительность инсоляции. Для наблюдателя движение Земли вокруг Солнца представляется как движение Солнца вокруг Земли. При этом положение Солнца определяется азимутальным углом (небесным направлением, из которого светит Солнце, измеренным от направления на север по направлению движения часовой стрелки) и углом высоты [угол подъема над плоскостью горизонта (рис. 61, *б*)].

Чтобы определить положение Солнца на небе в любое время года и дня для определенной географической широты, его положение от места нахождения наблюдателя из видимого полушария неба с видимыми солнечными орбитами (рис. 61, *а*) стереографически, в виде параболоида (одного из возможных видов проекции), проецируется на горизонтальную плоскость. Таким способом Институтом светотехники в Штутгарте для всех нечётных градусов широт получены развернутые диаграммы положения Солнца (рис. 62).

Средняя точка диаграммы — проекция точки зенита, а также точка нахождения наблюдателя.

Солнечные орбиты при таком способе проекции изображены под данными астрономического времени (истинного времени) в виде эксцентрических отрезков дух окружностей. Они взяты приближенно для 21-го числа каждого месяца, так как Солнце достигает своего наиболее высокого положения в день летнего солнцестояния 21 июня (северный круг) и своего наиболее низкого положения в день зимнего солнцестояния 21 декабря (южный круг).

Другими характерными точками солнечной орбиты являются дни весеннего и осеннего равнодействия (соответственно 21 марта и 21 сентября). Начиная от дня весеннего равнодействия, в северном полушарии дни становятся длиннее ночи (самый длинный день —

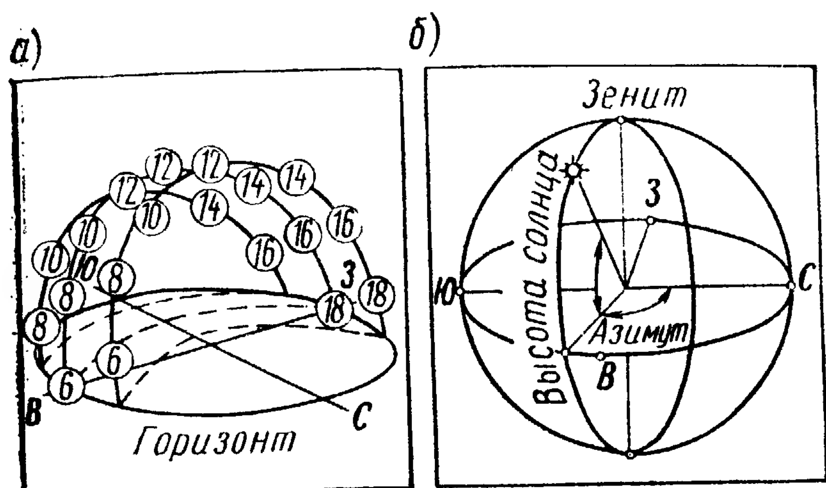


Рис. 61. Определение положения Солнца [33]

а — построение диаграммы положения Солнца (видимые солнечные орбиты проецируются на горизонтальную плоскость, числовые данные показывают истинное местное время); *б* — азимут (измеренный от направления на север по направлению движения часовой стрелки) и высота Солнца в астрономической системе

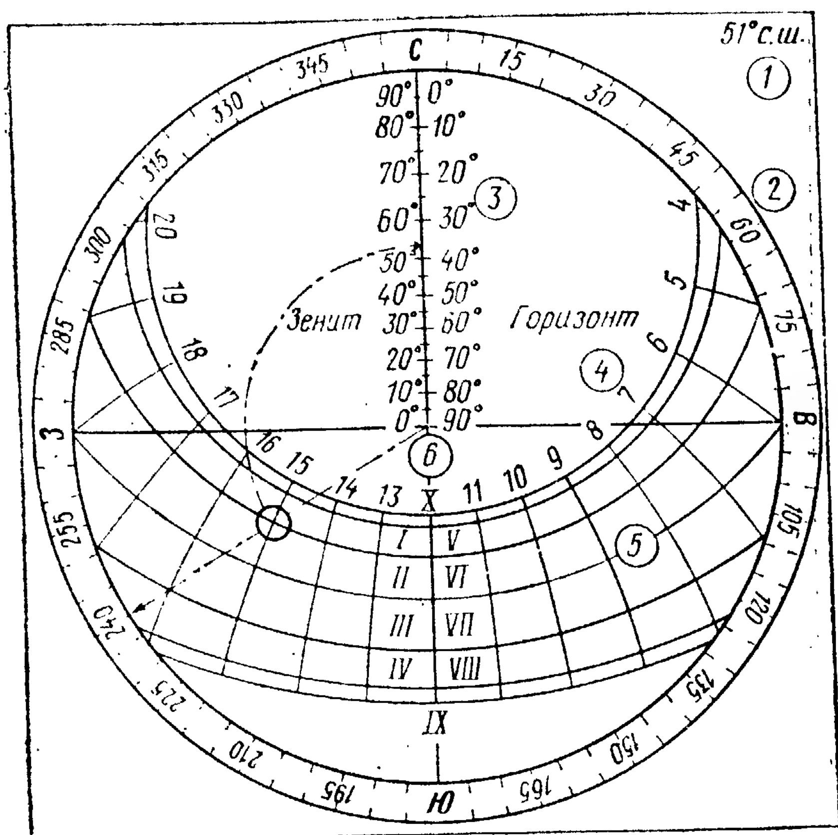


Рис. 62. Диаграмма положения Солнца [294]

1 — географическая широта — область построения диаграммы; *2* — шкала азимутальных углов (в направлении неба); *3* — шкала высотных углов (измеренных от горизонта *h* или от зенита *z*); *4* — значения астрономического времени (истинное местное время); *5* — изображения солнечных орбит для различных месяцев (точнее, для 21 числа месяца); *6* — точка нахождения наблюдателя; I — май; II — апрель; III — март; IV — февраль; январь; V — июль; VI — август; VII — сентябрь; VIII — октябрь, ноябрь; IX — декабрь; X — июнь

Пример, изображенный на рисунке: в апреле или августе в 15 ч в пункте, расположенном на 51° северной широты, солнце находится в точке с азимутом 239° и на высоте 36°

21 июня), а после дня осеннего равнодействия — короче (самый короткий день — 21 декабря). Эти сдвиги для восхода и захода Солнца тем больше, чем дальше на север расположена интересующая нас местность (географическая широта).

Солнечные орбиты для других заданных моментов времени следует определять интерполяцией. Рис. 62 показывает, как можно с помощью диаграммы положения Солнца определить азимутальный угол и высоту Солнца для определенного места (на рисунке для Аахена, 51° северной широты), для определенного времени года и дня.

2. **Измерение угла затенения.** При свободном горизонте от места нахождения наблюдателя и видимой солнечной орбите может быть определено, в какое время года и дня Солнце светит на точку наблюдения. Если часть солнечной орбиты закрыта застройкой, с этого участка неба на точку наблюдения не могут падать прямые солнечные лучи. Поэтому для оценки условий инсоляции и определения мероприятий по солнцезащите необходимо получить изображение застройки и тем самым затенение вследствие закрытия ею области солнечной орбиты в диаграмме положения Солнца. Для этого используется определитель угла затенения Липсмайера [36].

Представленная в плане и разрезе на рис. 63 ситуация обозначает участок неба, который закрыт от точки наблюдения затеняющим препятствием. Таким образом получают границы затенения, образуемые вертикальными и горизонтальными краями затеняющего

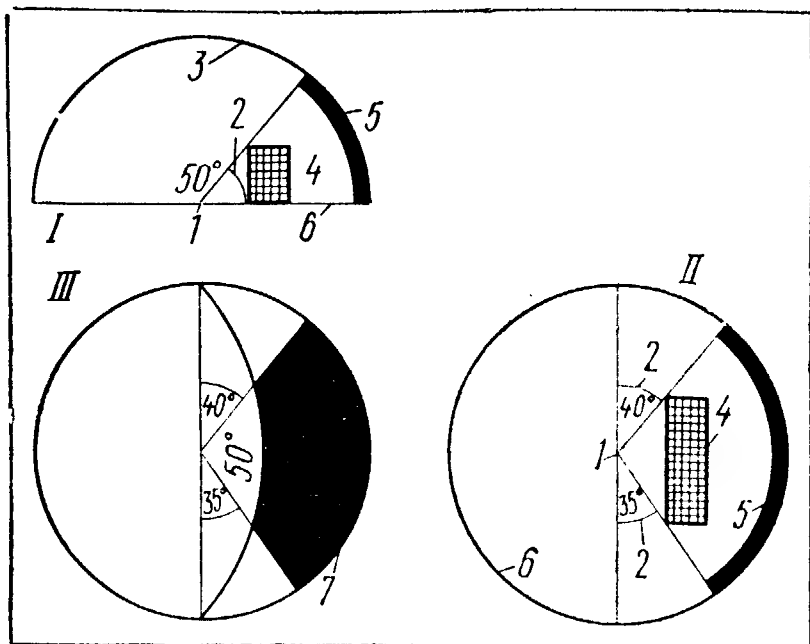


Рис. 63. Построение измерителя угла затенения

I — разрез; II — план; III — измеритель угла затенения; *1* — точка нахождения наблюдателя; *2* — угол, под которым видно наблюдателю затеняющее препятствие (угол затенения); *3* — небосвод; *4* — затеняющее препятствие; *5* — затеняемая область неба; *6* — горизонтальная плоскость; *7* — закрытая препятствием область неба в измерителе угла затенения

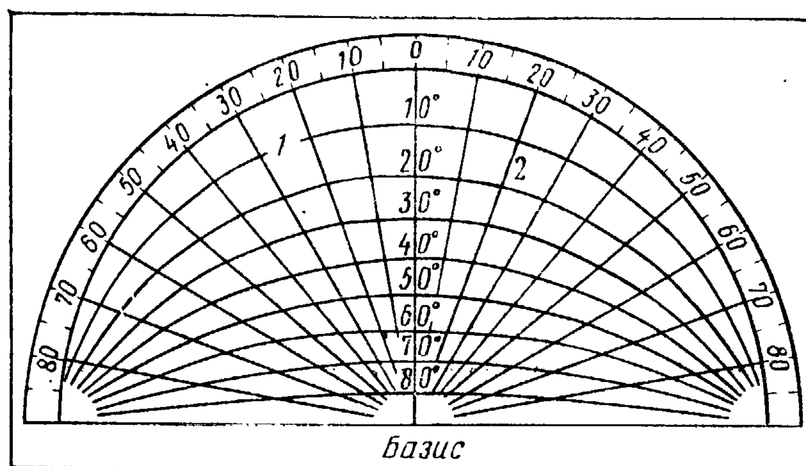


Рис. 64. Измеритель углов затенения (36)
1 — изображение границ затенения от горизонтальных краев зданий; *2* — изображение границ затенения от вертикальных краев зданий

препятствия, и устанавливаются углы затенения (горизонтальный угол и угол высоты), под которыми препятствие видно наблюдателю.

Различные (в зависимости от граней препятствия) границы затенения стереографически (в соответствии с диаграммой положения Солнца) проецируются на горизонтальную плоскость. Получается изображение закрытого препятствием участка неба, так называемое изображение застройки в измерителе углов затенения. Границы затенения, образуемые горизонтальными краями зданий, изображаются в виде эксцентрических круговых дуг; границы затенения, образуемые вертикальными краями зданий, изображаются радиальными линиями (рис. 64).

УКАЗАНИЯ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ

1. Ориентация здания. Здание должно быть ориентировано преимущественно на юг, если это допускается генеральным планом или другими предписаниями, а также рельефом местности заданного участка. При такой ориентации длительность ежедневной инсоляции наибольшая (что особенно важно зимой) и, кроме того, благодаря высокому положению Солнца летнее излучение и вследствие этого нагрев помещений сравнительно невелики. Солнечное излучение относительно простыми средствами может быть экранировано.

Ориентация на север наиболее благоприятна, когда прямая инсоляция нежелательна (например, в производственных помещениях). Благодаря этому солнечное излучение исключается и северные фасады не требуют никакой солнцезащиты.

Ориентация на восток или запад обусловлена типом зданий. Из солнцезащитных соображений восточная ориентация предпочти-

тельнее ориентации в направлениях от юго-западного до западного, так как в этом случае максимальное солнечное излучение связано с дневным максимумом наружных температур, что ведет к наибольшему подъему температуры воздуха в помещении. Исходя из сказанного, влияние застройки следует учитывать так же, как при решении вопросов, связанных с дневным освещением.

2. **Планировка.** При разработке планировки жилого здания, если это допустимо из функциональных соображений, спальные помещения (для родителей) следует ориентировать на восток. Детские, а также игровые комнаты из-за требуемых для них небольшого нагрева летом и как можно большей инсоляции зимой предпочтительнее ориентировать на юг. Для жилых помещений, которые преимущественно используются вечерами, наряду с южным расположением благоприятной является ориентация на запад. Кухни, рабочие и вспомогательные помещения можно ориентировать на север.

ТРЕБОВАНИЯ И ОЦЕНКА

В научной литературе часто приводятся различные рекомендации по инсоляции квартир. При этом почти все они базируются на теоретических положениях и являются более или менее произвольными. Однако все авторы едины в том, чтобы считать 8 февраля, так называемый средний день зимы, в качестве контрольного дня для измерения необходимой длительности солнечного освещения.

Гранджин [15], обобщая исследования Барьера и Гильена [133], приводит как минимальные требования (табл. 16), так и желательные значения инсоляции квартир (табл. 17) в зависимости от их площади.

ТАБЛИЦА 16. МИНИМАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИНСОЛЯЦИИ КВАРТИР

Наличие комнат в квартире	Минимально допустимая длительность освещения Солнцем, мин			
	жилых комнат	спален	детских	всего
1—2½ комнаты	60—90	—	—	60—90
3—4½ комнаты	60—90	—	30	90—120
5 комнат и более	60—90	30	30	120—150

Примечание. Здесь и в табл. 17 приведена возможная длительность солнечного освещения в средний день зимы (8 февраля) в середине комнаты на высоте 1 м над уровнем пола [133].

ТАБЛИЦА 17. ЖЕЛАТЕЛЬНАЯ ИНСОЛЯЦИЯ КВАРТИР

Наличие комнат в квартире	Желательная длительность солнечного освещения, мин			
	жилых комнат	спален	детских	всего
1—2½ комнаты	120	—	—	120
3—4½ комнаты	120	—	90	210
5 комнат и более	120	30	90	240

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

15, 33, 36, 41, 73, 122, 133, 276, 294, 300, 314.

ПРИМЕРЫ

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ИНСОЛЯЦИИ И ЗАТЕНЕНИЯ ФАСАДА ЗДАНИЯ И ПЛОЩАДИ

Задание. Для фасада *F* и площади *P* для заданной в плане и разрезе ситуации (рис. 65) необходимо определить длительность инсоляции или условия затенения.

А. Оценка условий инсоляции или затенения фасада *F*. Затенение от застройки в течение всего года для определенной точки наблюдения можно определить с помощью диаграммы положения Солнца (см. рис. 62) и измерителя угла затенения (см. рис. 64).

В. Оценка условий инсоляци ии затенения площади *P*. Затенение площади от окружающей застройки для определенного положения Солнца можно определить с помощью построения теней.

А. Оценка условий инсоляции или затенения фасада F

1. **Определение ориентации фасада *F*** и ее обозначения в диаграмме положения Солнца. Задаваемая планом ориентация рассматриваемого фасада — угол между плоскостью фасада и направлением на север (по часовой стрелке) — переносится на диаграмму положения Солнца (рис. 66).

2. **Определение длительности инсоляции фасада *F*** без учета застройки. По диаграмме положения Солнца в точках пересечения линии фасада с солнечными орбитами для различных месяцев может быть определена длительность солнечного освещения: 21 июня — с 8.30 до 18.00 ч; 21 марта и 21 сентября — с 7.15 до 18.00 ч (заход солнца); 21 декабря — с 8.15 до 15.45 (заход солнца).

3. **Определение изображения застройки для фасада *F*.** 3.1. Установим точку наблюдения, для которой должно быть построено изображение застройки. Для определения картины затенения вертикальной плоскости (фасада) выполняется исследование либо для нескольких точек плоскости, либо для одной особо оговоренной точки в зависимости от цели исследования (например, для наиболее неблагоприятной точки). При этом следует обратить внимание на то, что условия инсоляции сильно изменяются в зависимости от высоты застройки. Для определения затененности в примере выбрана точка *F*, расположенная на высоте подоконника первого этажа примерно посередине фасада (рис. 65).

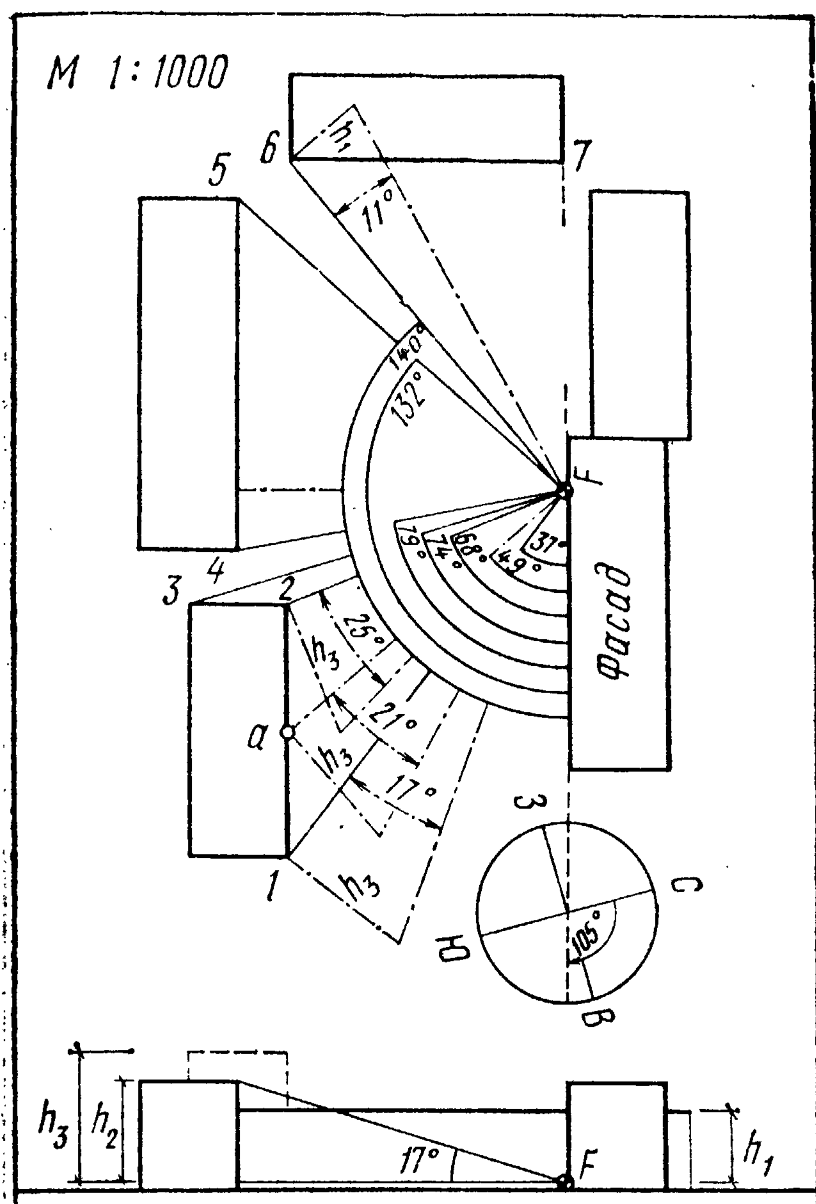


Рис. 65. Определение горизонтальных и вертикальных углов затенения. Показаны ориентация фасада и углы, под которыми из точки наблюдения F у фасада здания видны горизонтальные и вертикальные края застройки

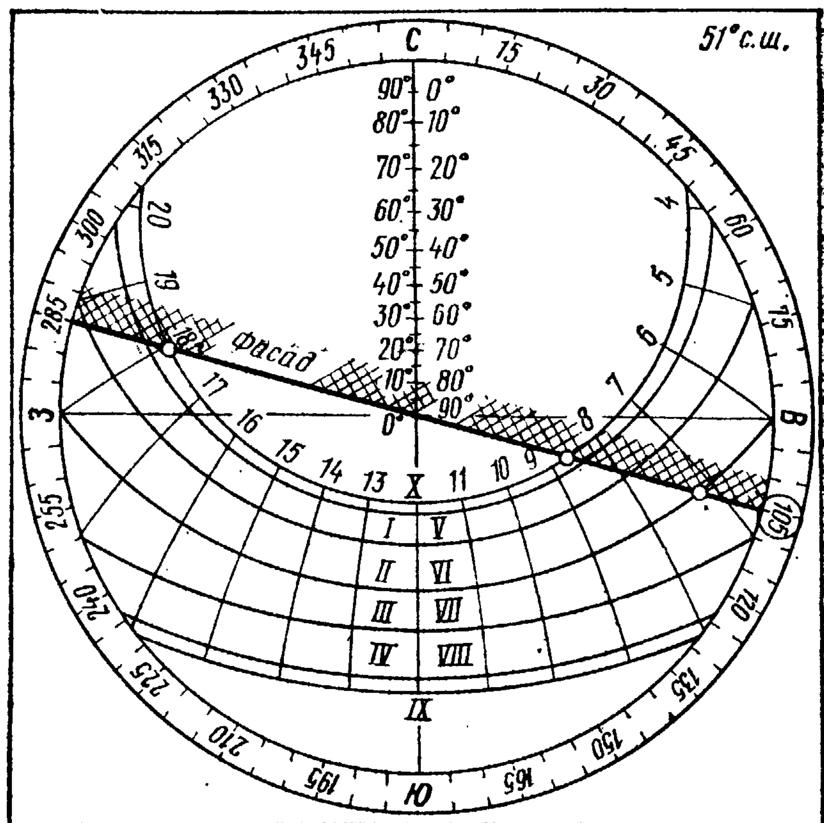


Рис. 66. Определение длительности инсоляции без учета застройки

I — май; II — апрель; III — март; IV — февраль, январь; V — июль; VI — август; VII — сентябрь; VIII — октябрь, ноябрь; IX — декабрь; X — июнь

3.2. Определим положение вертикальных ребер зданий в диаграмме положения Солнца. Влияние застройки для точки F может быть описано углами, под которыми затеняющие здания видны из точки F. Для построения изображения вертикальных ребер зданий построим горизонтальные углы затенения в плане от линии фасада по направлению часовой стрелки и перенесем их на диаграмму положения Солнца. Таким образом получим изображение вертикальных ребер зданий *1—6* (рис. 67).

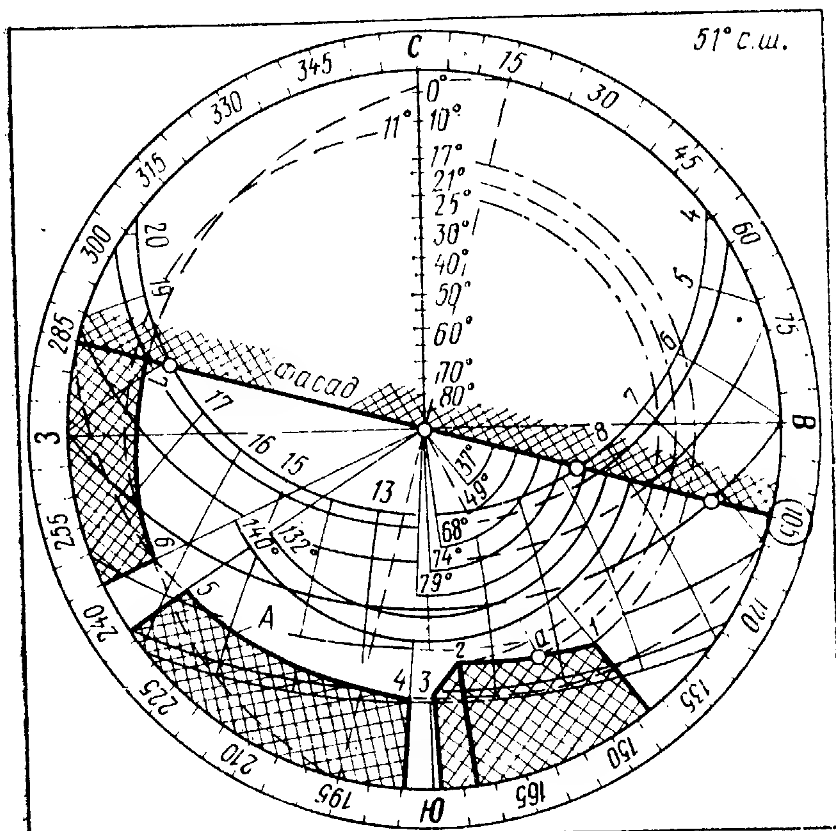
3.3. Построим на диаграмме положения Солнца изображение горизонтальных ребер застройки (линий кровли здания), параллельных плоскости рассматриваемого фасада.

3.3.1. Построение по точкам. Для нескольких точек ребра кровли *1—2* углы высоты определяются путем нанесения соответствующих опорных треугольников на горизонтальную плоскость. Изображение ребра кровли *1—2* на диаграмме положения Солнца получают соединением отдельных точек.

3.3.2. Построение с помощью измерителя углов затенения. Из разреза определяется только угол высоты в направлении, перпендикулярном линии *4—5*. Образуемая этим углом кривая измерителя угла затенения (фасадная линия и базис измерителя угла затенения совмещаются) позволяет нанести на диаграмму положения Солнца изображение искомой линии кровли *4—5*.

3.4. Построим в диаграмме положения Солнца изображение горизонтальных ребер застройки, которые проходят непараллельно плоскости фасада. Для изображения ребер кровли по линии *6—7*, проходящей непараллельно исследуемому фасаду, определим сначала угол высоты для точки *6* этого ребра и перенесем его на диаграмму положения Солнца. Если измеритель угла затенения расположен своим основанием параллельно изображаемой линии *6—7* на диаграмме положения Солнца, то изображение этого ребра кровли может быть прочерчено вдоль кривой измерителя угла затенения, которая проходит через определяемую точку *6*.

4. Результат. Построенное таким образом изображение застройки показывает, что с марта по сентябрь, т. е. в течение летнего времени года, застрой-



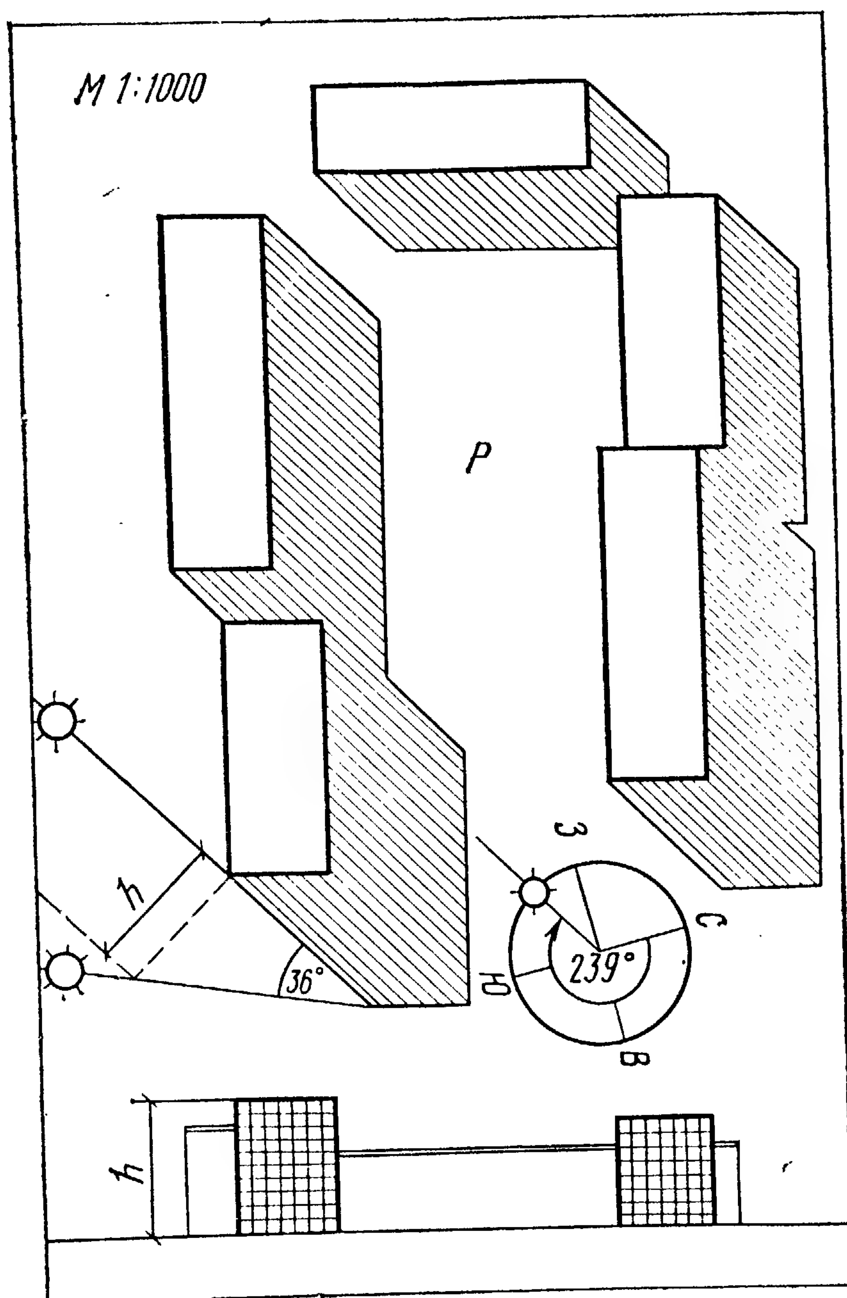


Рис. 67. Определение изображения застройки в диаграмме положения Солнца (А — линия верха фасада в измерителе угла затенения, 17°)

→

Рис. 68. Определение затенения площади *P* окружающей застройки в 15 ч пополудни апреля (августа). Солнце светит к этому времени под азимутальным углом 239° и углом высоты 36°

ка лишь незначительно затеняет фасад *F* в поздние послеобеденные часы. В декабре же фасад затеняется в течение одного часа утром и короткое время в середине дня. 8 февраля, в контрольный день измерения длительности инсоляции, фасад освещается почти весь день, т. е. от 7.15 ч (восход Солнца) до 14.40 ч.

При таком способе построения изображения застройки для определенной точки фасада оказывается возможным (и относительно просто в проекте для конкретной ситуации) определить влияние застройки на условия инсоляции, затенения помещения или здания. Если окажется необходимым, то еще на стадии проектирования можно легко внести определенные коррективы.

В. Оценка условной инсоляции или затенения площади P

1. **Определим время**, для которого должно быть построено затенение площади *P*. Для заданной ситуации должна быть оценена инсоляция площади *P* (рис. 68) с учетом размещения на ней детской игровой площадки, которая с апреля до конца августа должна быть освещена в послеобеденные часы. Затенение строится для 15 ч пополудни апреля (августа).

2. **Установим положение Солнца к этому времени.** По диаграмме положения Солнца находим время построения затенения. Солнце светит в апреле (августе) под азимутальным углом 239° и углом высоты 36°.

3. **Определим траектории тени от вертикальных ребер застройки.** Направление, в котором падает тень, соответствует направлению солнечных лучей; в плане оно может быть обозначено в соответствии с азимутальным углом 239°, измеренным от направления на север.

4. **Определим траекторию тени от горизонтальных ребер застройки.** Длина тени определяется с помощью горизонтальных ребер застройки. Их получают, когда различные высоты зданий *h* проектируются на горизонтальную плоскость и через точку, соответствующую концу этой высоты *h*, проводят линию

под углом высоты Солнца, равным 36°. Точка пересечения этой линии с направлением тени дает длину тени.

5. **Результат.** Исследование показало, что площадь *P* для рассматриваемого отрезка времени затеняется едва ли на одну треть и исходя из этого пригодна для использования. Этот способ позволяет проектировщику быстро и точно проверить влияние предполагаемой застройки на инсоляцию ее непосредственного окружения, что особенно важно при возведении высотных зданий.

СОЛНЦЕЗАЩИТА

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

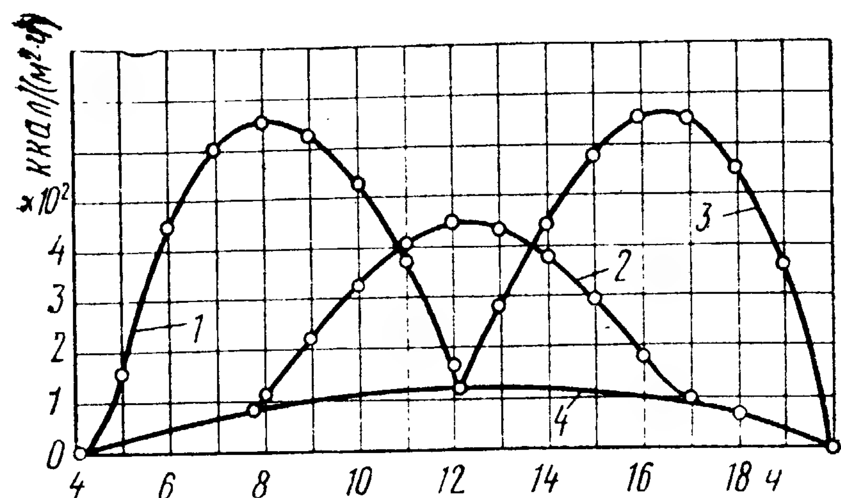
1. **Понятия и величины. 1.1. Влияние ориентации окон на температурный режим помещений.** Влияние ориентации окон на повышение температуры воздуха в помещениях показано на рис. 69 и 70. На них изображено изменение во времени солнечного излучения (прямого и диффузного) для различным образом ориентированных вертикальных плоскостей в день летнего солнцестояния (21 июня) и дни равнодействия (21 марта и 21 сентября). В нижней части рисунков приведены соответствующие дневные суммы солнечного излучения для отдельных плоскостей. На рис. 71 и 72 показаны вытекающие из них изменения во времени внутренних температур в помещениях, ограждения которых выполнены из одинаковых материалов, внутри комплексов зданий с различной ориентацией окон. Как видно, в летний период повышение температуры воздуха помещений при южной ориентации помещений относительно меньше, чем при восточной и западной ориентации.

Примечательно, однако, что значения температур для помещений, ориентированных на запад (+ 18°), несмотря на симметричные изменения интенсивности и одинаковые дневные суммы, лежат выше температур для помещений, ориентированных на восток (+ 16°). Причина состоит в том, что диффузное отраженное излучение при западной ориентации проникает в помещение в первую половину дня и за счет способности к восприятию тепла окружающих помещение конструкций нагревает помещение, затем уже во второй половине дня в помещения попадает прямое солнечное излучение [131].

Напротив, в дни равнодействия температура помещений, ориентированных на юг, имеет наибольшее значение (+ 19°). И если в марте это желательно, то в сентябре из-за высоких температур наружного воздуха это может привести к отрицательным воздействиям на микроклимат помещений.

Зимние условия учитывать нет необходимости, так как приток тепла в виде солнечного излучения в этот период может быть только полезен.

Если по аналогии с принятыми на рис. 71 и 72 значениями (+ 16° и + 19° С) температуры воздуха в помещениях с различной ориентацией в качестве исходной принять температуру около 14° С для 6 ч утра, то во второй половине дня температура воздуха в по-



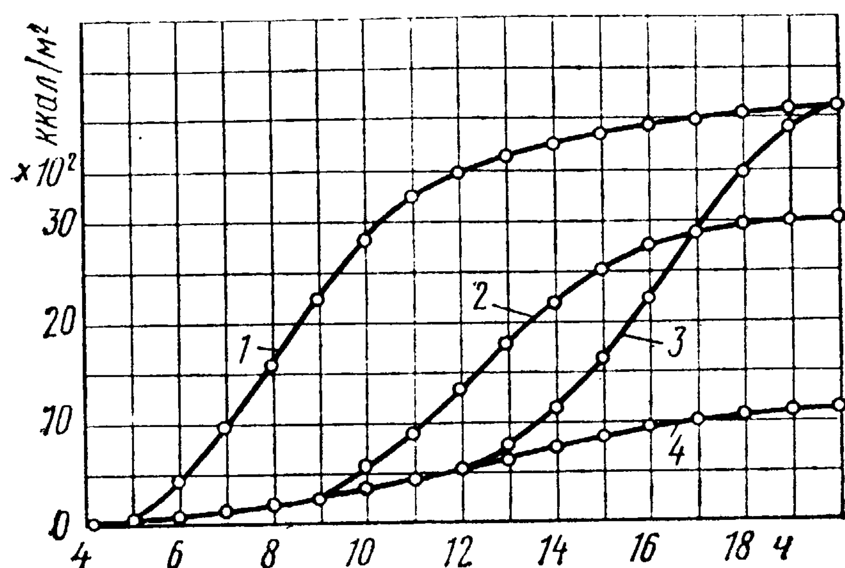
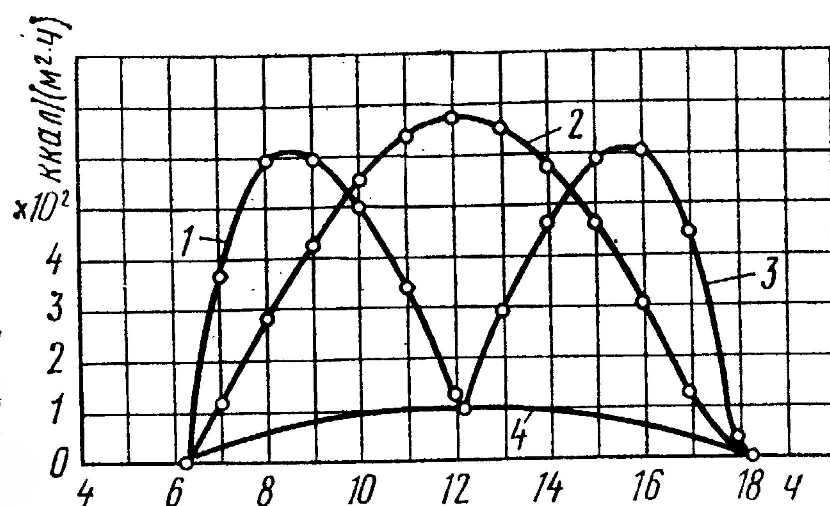


Рис. 69. Изменения во времени и дневные суммы солнечного излучения 21 июня для вертикальных плоскостей [130]

1 — ориентация на восток; *2* — то же, на юг; *3* — то же, на запад; *4* — диффузное и отраженное излучение

Здесь и на рис. 70 значения измерены Институтом строительной физики (Штутгарт) в деревянном здании (47°52′ с. ш.) (1 ккал=1,16 Вт · ч)



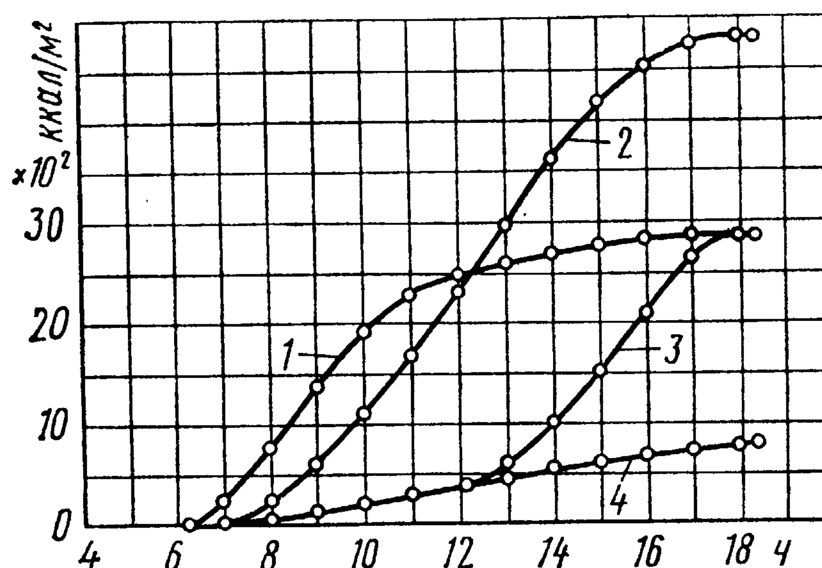


Рис. 70. Изменения во времени и дневные суммы солнечного излучения 21 марта (сентября) для вертикальных поверхностей

1 — ориентация на восток; *2* — то же, на юг; *3* — то же, на запад; *4* — диффузное и отраженное излучение

мещении достигает 30—33° С. Отрицательное воздействие на людей такой температуры следует исключать путем реализации соответствующих солнцезащитных мероприятий.

1.2. Мероприятия по солнцезащите. Под солнцезащитой в дальнейшем будем понимать мероприятия, которые направлены на то, чтобы уменьшить нарушения внутреннего микроклимата, — слишком большое нагревание и (или) слишком большой контраст яркости, или блескость, возникающие вследствие прямого и рассеянного излучения Солнца.

Наряду с конструктивными мероприятиями по солнцезащите принимают соответствующие проектные решения (ориентация здания по странам света и по отношению к застройке, ориентация отдельных помещений в плане здания), а также мероприятия по регулированию микроклимата (принудительная вентиляция и кондиционирование). Последние здесь не рассматриваются, а интересующийся этим вопросом читатель адресуется к специальной литературе.

2. Энергетическая проницаемость стекла. Достигающее Земли солнечное излучение включает в себя в видимой и инфракрасной областях волны длиной от 0,2 до 3 мкм. Нормальное оконное стекло почти полностью отражает или поглощает излучение в ультрафио-

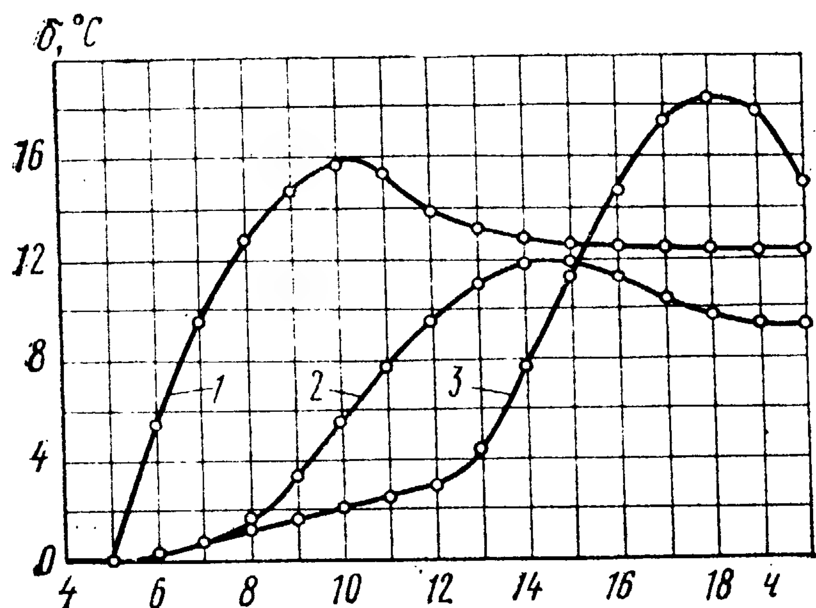


Рис. 71. Изменения во времени температур воздуха в помещении 21 июня [130]

1 — при ориентации остекленных поверхностей на восток; 2 — то же, на юг; 3 — то же, на запад;

Здесь и на рис. 72: размер помещения 4×4×2,5 м; материал ограждений — газобетон; площадь остекления 4 м²; изоляционное стекло

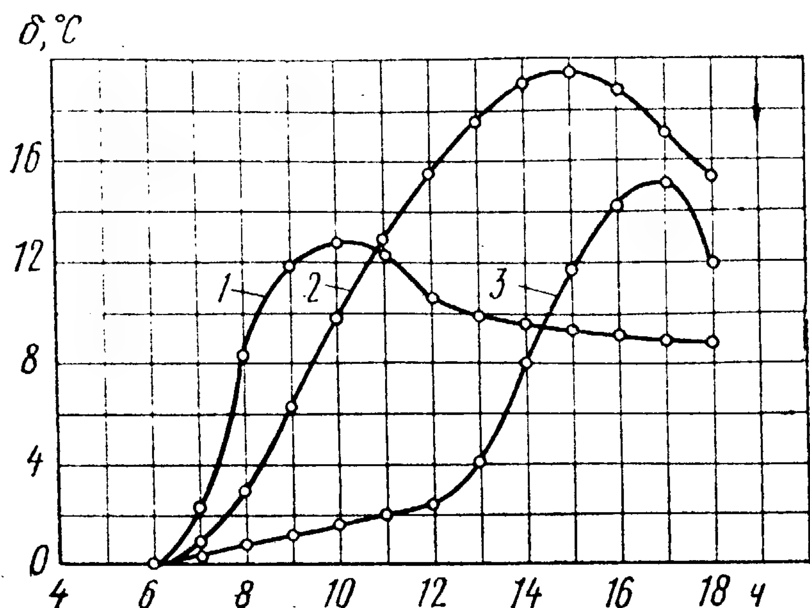


Рис. 72. Изменения во времени температур воздуха в помещении 21 марта (сентября)

1 — при ориентации остекленных поверхностей на восток; 2 — то же, на юг; 3 — то же, на запад

летовой области (длина волны < 0,4 мкм), его проницаемость для видимой части спектра (длина волны 0,4—0,8 мм) и инфракрасной части солнечного излучения (длина волны 0,8—3 мкм) составляет 80—90%. Для излучения с длиной волны больше 3 мкм оконное стекло почти непроницаемо (рис. 73).

Если солнечный свет проникает через окно в помещение, то при попадании его на окружающие помещение конструкции и предметы обстановки бо́льшая часть поглощается и превращается в тепло. Затем это тепло в виде длинноволнового излучения (с длиной волны > 3 мкм), для которого стекло по отношению к излучению непроницаемо, опять испускается в помещение. Таким образом, благодаря солнечному излучению в помещение подводится больше тепла, чем может быть отдано из него наружу. Это свойство известно как тепличный (парниковый) эффект.

Поглощаемая стеклом часть излучения способствует его нагреву что, в свою очередь, не только не уменьшает отдачу тепла изнутри наружу, но дополнительно за счет конвекции и длинноволнового излучения увеличивает поступление тепла в помещение. Вместе с прямым солнечным излучением это приводит к нагреву внутреннего воздуха помещения [131].

Количество тепла, отдаваемого поверхностями наружных стен (подоконники, перемычки, откосы) внутреннему пространству помещений, относительно невелико, поэтому им можно пренебречь. Таким образом, количество излучаемой в помещение энергии (и повышение температуры внутреннего воздуха) в большой мере зависит от энергетической проницаемости и размера окон.

Для определения энергетической проницаемости окон, т. е. количества (в процентах) солнечной энергии, которое в течение светового дня (с учетом текущих изменений угла падения солнеч-

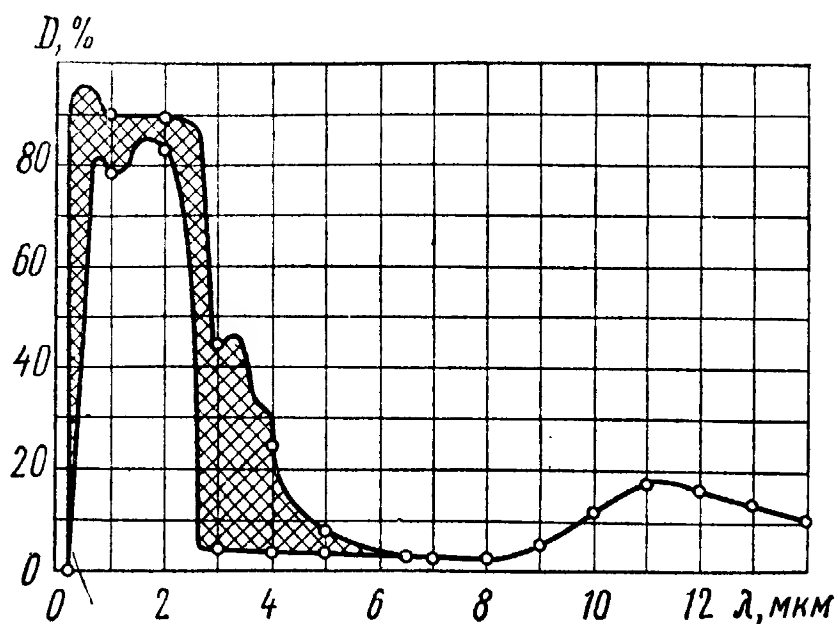


Рис. 73. Лучевая проницаемость нормального оконного стекла в зависимости от длин волн. Заштрихованная область дает разброс проницаемости стекла из-за различных добавок в стекломассе [131]

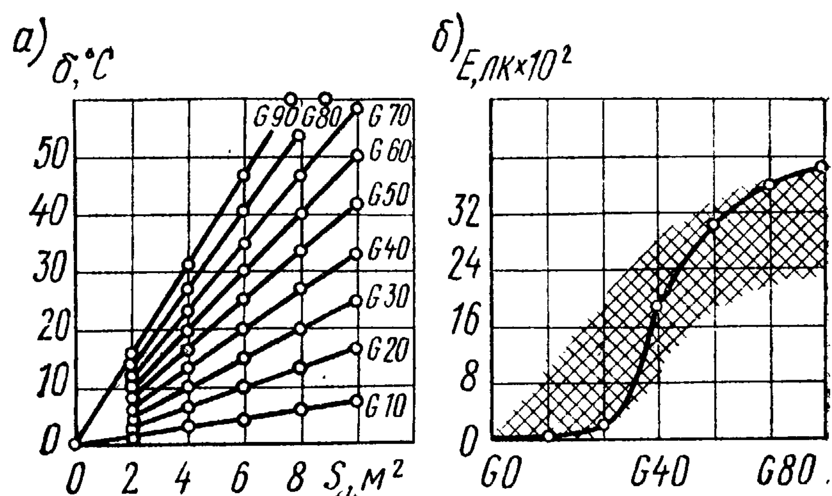


Рис. 74. Влияние значения показателя стекла *G* на повышение температуры и освещенность помещения [131]

а — прирост температуры воздуха помещения происходит пропорционально увеличению энергетической проницаемости окна и (или) площади его поверхности; *б* — по мере уменьшения энергетической проницаемости окна освещенность помещения сильно снижается (заштрихованная область характеризует зону разброса освещенностей вследствие различия геометрических размеров и окраски помещения; приведенная на чертеже кривая значений дана примерно для середины помещения)

ных лучей) попадет в помещение через остекление, был принят так называемый показатель стекла *G* [131]. Чем он меньше по абсолютному значению, тем меньше энергии излучается в помещение.

Если для окон с разными показателями стекла *G* нанести на график (рис. 74) максимальное повышение температуры воздуха помещения, то окажется, что чем больше энергетическая проницаемость окна и (или) чем больше его площадь, тем пропорционально больше подъем температуры внутри помещения. Однако любое изменение энергетической проницаемости окон приводит к изменению освещенности помещения в дневное время. На рис. 74, *б* показана связь между показателем стекла *G* и освещенностью помещения. При уменьшении значений *G* освещенность снижается очень сильно.

3. Тепловосприятие конструкций, окружающих помещение. Благодаря нагреву воздуха возникает перепад температуры между теплым воздухом помещения и холодными внутренними поверхностями. Это ведет к поглощению окружающими помещения конструкциями тепла внутреннего воздуха, нагревание которого прекращается. Таким образом, чем больше количество воспринимаемого окружающими помещение конструкциями тепла, тем меньше прирост температуры внутреннего воздуха.

Численное значение $Q_т$ зависит от материала окружающих помещение конструкций.

Количество воспринимаемого конструкциями тепла $Q_т$ (Вт · ч) может быть вычислено по формуле

$$Q_т = bS\sqrt{T}\Delta t, \qquad (63)$$

где b — коэффициент теплопроницания; S — площади окружающих помещение конструкций; T — продолжительность восприятия тепла; Δt — разность температур между внутренним воздухом и поверхностями окружающих помещение конструкций.

Чтобы иметь возможность сравнить между собой тепловосприятие конструкций, выполненных из разных материалов, следует в уравнении (63) площадь поверхности конструкций S, промежуток времени t и разность температур Δt принять постоянными. Тогда количество воспринимаемого конструкцией тепла $Q_т$ будет зависеть только от коэффициента теплопроницания b [Вт · ч/ (м² · °С · $\sqrt{ч}$)], $Q_т \sim b$. Последний в свою очередь зависит от плотности ρ, теплоемкости c и коэффициента теплопроводности λ:

$$b = \sqrt{\rho c \lambda}. \qquad (64)$$

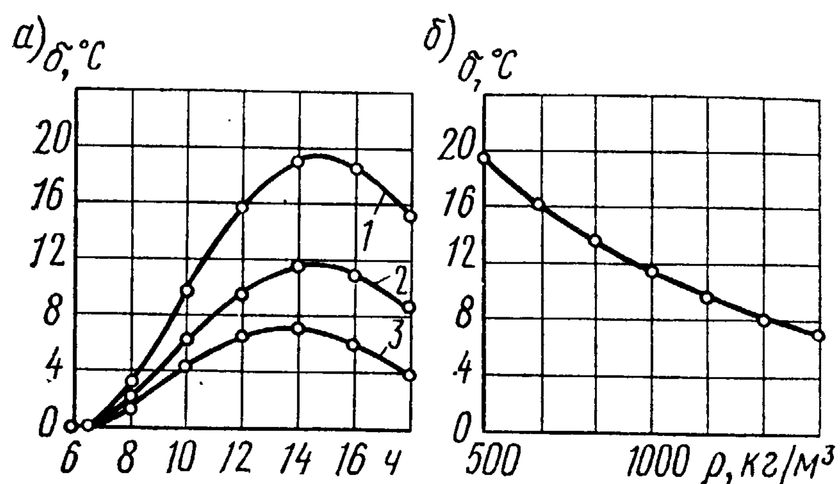


Рис. 75. Влияние плотности ρ екружающих помещение конструкций на прирост температуры внутреннего воздуха [131]

а — повышение (во времени) температуры воздуха в помещениях с различными видами ограждающих конструкций: *1* — легкая конструкция ρ ≤ 500 кг/м³); *2* — конструкция средней массивности (ρ = =1000 кг/м³); *3* — тяжелая конструкция (ρ ≥ 1500 кг/м)³; *б* — зависимость повышения температуры внутреннего воздуха от плотности окружающих помещение конструкций

Поскольку теплоемкость c и коэффициент теплопроводности λ в определенных пределах с повышением плотности возрастают, коэффициент теплопроницания b становится, таким образом, тем больше, чем больше плотность ρ. Из этого следует, что тепловосприятие конструкции тем больше, чем она тяжелее.

Таким образом, нагрев внутреннего воздуха с повышением массы окружающих помещение конструкций уменьшается. На рис. 75 эти зависимости представлены графически. Способ определения необходимых мероприятий для солнцезащиты, который учитывает эти зависимости, описан в разделе «Требования и оценка».

В многослойных конструкциях большую роль играют последовательность слоев и их толщина. Расположение легких теплоизоляционных слоев на внутренней стороне помещения еще больше снижает теплоаккумулирующую способность находящихся за ними других слоев. Начиная с определенной толщины конструкции (например, для тяжелого бетона с 8 см, для газобетона — около 20 см, для кирпича — около 14 см) влияние общей толщины конструкции на максимальную температуру в помещении становится несущественным [130].

УКАЗАНИЯ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ

Для проектирования зданий, у которых площадь поверхности окон составляет большую часть всей площади фасада, могут быть сформулированы следующие рекомендации. Исследования тепловой нагрузки помещений при воздействии прямого солнечного излучения должны быть проведены на ранней стадии проектирования. Тогда необходимые мероприятия по солнцезащите могут быть опре-

делены и выполнены без затруднений и наиболее эффективно. При этом для предотвращения слишком большого излучения и, следовательно, значительного повышения температуры внутреннего воздуха в помещении должны быть обсуждены все возможные защитные мероприятия. Только совместное рассмотрение всех мероприятий на стадии проектирования обеспечит без особых затрат приемлемые условия микроклимата помещений в летнее время.

1. Ориентация зданий и планировка помещений. Указания по ориентации зданий и планировке помещений см. раздел «Указания по конструированию и проектированию».

2. Площадь окон. Повышение температуры помещений пропорционально площади поверхности окон. Это должно быть по возможности согласовано с достаточным освещением помещения дневным светом.

3. Конструкции, окружающие помещение. Благодаря выбору соответствующих материалов (по принципу «чем тяжелее, тем лучше») для окружающих помещение конструкций и исключению теплоизолирующих покрытий внутренних поверхностей (облицовок стен и перекрытий, деревянных полов, толстых ковровых покрытий, встроенных шкафов) при определенных обстоятельствах могут стать излишними другие мероприятия по солнцезащите. Необходимая для наружных конструкций теплоизоляция должна быть размещена в ограждении как можно дальше наружу.

Нагрев помещения тем ниже, чем больше площадь поверхности воспринимающих тепло внутренних конструкций по отношению к поверхности окон. Поэтому при соответствующем отношении поверхности окон к площади всего фасада повышение температуры в небольших по площади помещениях меньше, чем в больших. При использовании тяжелых конструкций следует избегать также значений отношения площади поверхности окон к площади аккумулирующей поверхности (см. рис. 81), больших чем 0,1.

4. Энергетическая проницаемость окна. Повышение температуры воздуха в помещении прямо пропорционально энергетической проницаемости окна, определяемой показателем стекла *G*. Необходимое в каждом конкретном случае значение показателя стекла следует определять с использованием способа Гертиса [131]. Таким образом можно определить при необходимости мероприятия по солнцезащите. Следует обратить внимание на то, что при значениях показателя стекла, меньших 20, условия освещенности помещений дневным светом могут ухудшиться настолько, что потребуется постоянное искусственное освещение, которое, в свою очередь, вновь приведет к нагреву помещения.

5. Мероприятия по солнцезащите. Для уменьшения тепловой нагрузки помещений пригодны все солнцезащитные устройства, которые экранируют солнечное излучение перед проходом его через окно без большого собственного нагрева. Поэтому особенно эффективны располагаемые снаружи солнцезащитные устройства и отражающее солнцезащитное стекло.

5.1. Общие требования к солнцезащитным устройствам. Каждая система солнцезащиты должна выполнять тройную функцию по защите: 1) защиту против нежелательного нагрева внутренних помещений энергией излучения; 2) защиту находящихся в помещении людей от блескости при действии прямых солнечных лучей, а также рассеянного излучения неба. Блескость возникает прежде всего при низком положении Солнца, под углом около 30°, однако прямые лучи Солнца не должны при этом экранироваться полностью; 3) защиту против слишком большого контраста яркостей между непосредственно затененными и незатененными поверхностями помещения для обеспечения равномерности освещенности помещения.

Прямое солнечное излучение увеличивает абсолютную видимую освещенность помещения, но субъективно ощущение яркости незатененных непосредственно поверхностей помещения снижается. Поэтому при системах солнцезащиты, которые действуют как затеняющие, освещенность помещений субъективно ощущается как более яркая, хотя объективно она меньше.

5.2. Конструкция систем солнцезащиты. Все наружные системы защиты следует выполнять таким образом, чтобы они длительное время были устойчивы против воздействия погодных условий. При этом следует обратить внимание на то, чтобы система защиты одноэтажного здания выдерживала такие же воздействия, как и многоэтажного.

Тесно связано с этим требование о том, чтобы система защиты не нуждалась в обслуживании и была долговечна. Для этого следует выбирать материалы с высокой эффективностью самоочистки и большой сопротивляемостью вредным воздействиям снаружи.

Шум, возникающий снаружи при эксплуатации систем, может отрицательно воздействовать на самочувствие людей. Бороться с этим следует путем соответствующего профилирования отдельных пластин и устройства в местах соединения пластмассовых опор.

При подвижных системах солнцезащиты большое значение придается простоте обслуживания. Самая лучшая система защиты становится неэффективной, если она не используется из-за трудного управления. Индивидуальное обслуживание элементов более предпочтительно, чем автоматическое централизованное. Для высоких зданий (большие ветровые нагрузки) и фасадов, ориентированных на восток, эффективность устройств обеспечивается путем закрытия их до начала использования помещений. Для этого применяют централизованное управление с помощью зависящих от освещенности регулирующих устройств, которые одновременно являются элементом защиты от сильного ветра и имеют высокую надежность.

Применение сплошных горизонтальных диафрагм может привести к негативным явлениям, особенно для высоких зданий. При закрытых диафрагмах поднимающийся вдоль фасада нагретый воздух может через открытые окна попадать непосредственно в помещения.

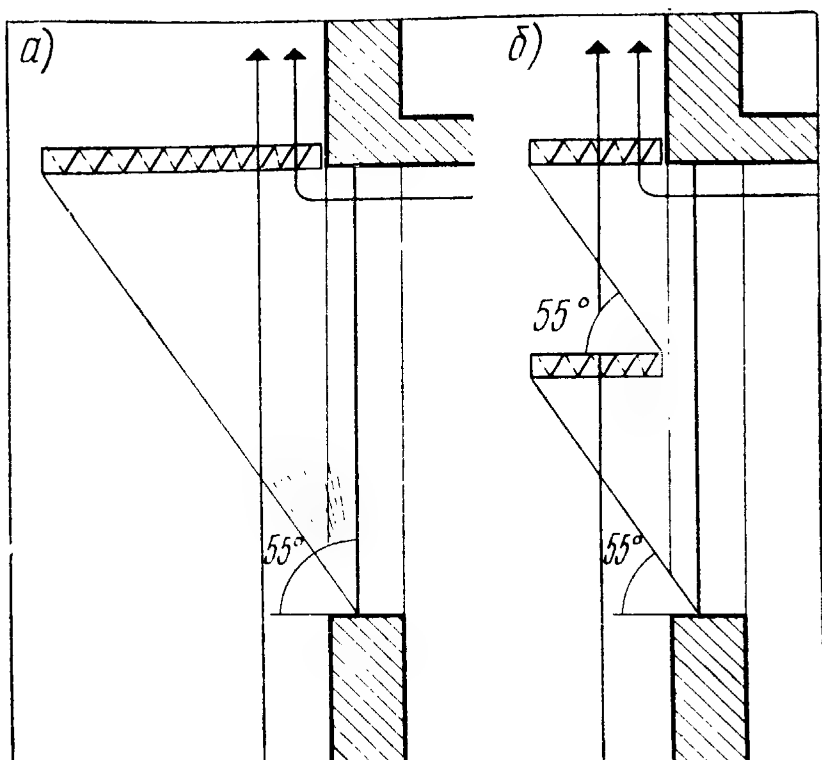


Рис. 76. Горизонтальные диафрагмы, закрепляемые неподвижно в отдельных пластинах

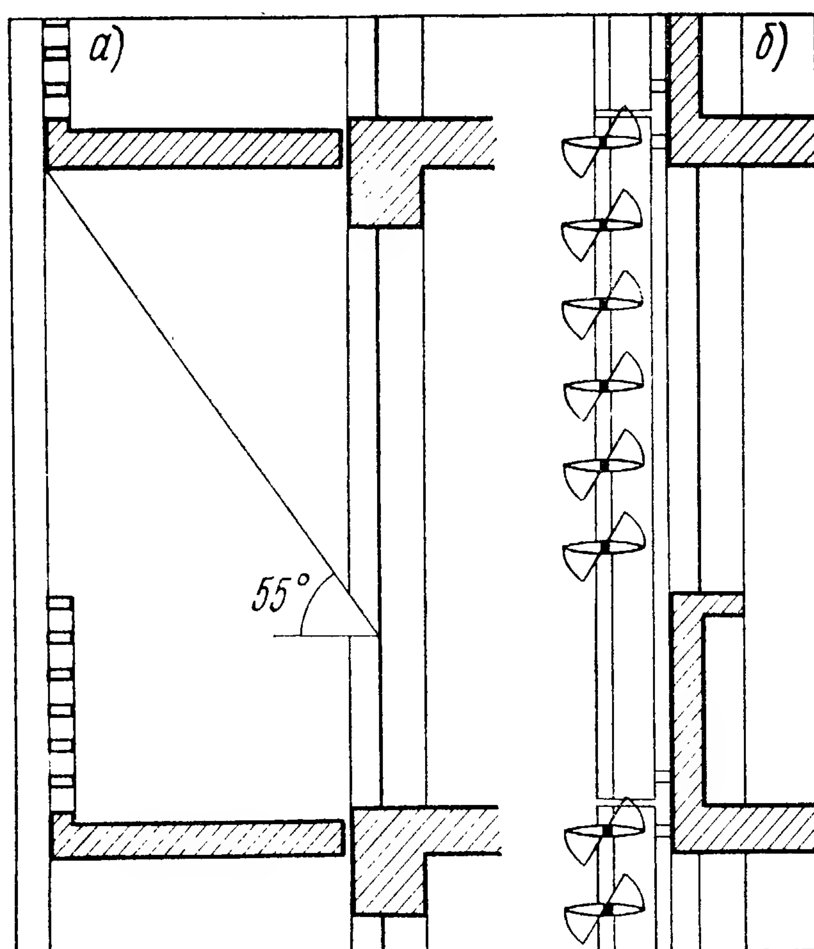


Рис. 77. Лоджия — неподвижное солнцезащитное устройство и лоджия с поворотными горизонтальными диафрагмами

Кроме того, сильно затрудняется естественная вентиляция. Чтобы избежать этого, закрытые диаграфмы в каждом случае должны быть отодвинуты от фасада, этим обеспечивается беспрепятственный подъем воздуха.

Еще лучше закреплять в отдельных пластинах сплошные закрытые плоскости диафрагм (рис. 76). Это выгодно и по другим причинам: так как диафрагмы и пластины подвержены непосредственному воздействию солнечных лучей, они абсорбируют бóльшую часть лучистой энергии, которая превращается в тепло. Затем элементы начинают, в свою очередь, излучать тепло на окна и стены дома. Аккумулирующие тепло тяжелые элементы, например из бетона, еще долго после захода Солнца могут отрицательно влиять на микроклимат помещений. Поэтому отдельные элементы системы солнцезащиты должны поглощать как можно меньше солнечной энергии, т. е. они должны иметь хорошо отражающую поверхность. Кроме того, они должны быть тонкими и легкими, а также состоять из хорошо проводящих тепло материалов, которые быстро вновь отдают тепло омывающему их воздуху.

Между закрытыми диафрагмами и непосредственно ограничиваемым ими участком неба вследствие собственного затенения диафрагм может возникнуть слишком резкий контраст яркостей. Это явление также предотвращается закреплением диафрагм в отдельных пластинах, которые благодаря отражению с обеих сторон выглядят более светлыми.

5.3. Солнцезащитные устройства, располагаемые снаружи. Неподвижные горизонтальные диафрагмы пригодны для южных фасадов с отклонением от южного направления не более 20°. Они служат достаточной защитой от излучения с углом затенения около 55°

(см. рис. 76), измеренным от горизонтали. Благодаря таким диафрагмам не создаются помехи для весьма желательного солнечного излучения в зимнее время. Для защиты от ослепления зимой при низко стоящем Солнце достаточно навешиваемых изнутри светлых занавесей. Следует помнить, что ход наружных температур не совпадает с положением Солнца, а их максимум наступает спустя шесть недель после наиболее высокого положения Солнца. Из этого следует, что солнцезащита, выполняемая с помощью неподвижных диафрагм, эффективна в начале года, когда по теплотехническим соображениям она еще нежелательна, и малоэффективна в конце лета, хотя из-за высоких в это время наружных температур она была бы весьма желательной [193].

Если консоль диафрагмы слишком велика, то она может быть разделена на отдельно укрепленные перед окном элементы, но обзор через окно из-за этого в той или иной мере ухудшается.

Следует обратить внимание на то, что при этом исключается прямое прохождение света между отдельными элементами (см. рис. 76, *б*). Неподвижные горизонтальные диафрагмы должны быть по возможности закреплены таким образом, чтобы между ними не проходил солнечный свет. При этом следует учесть, что расстояние между пластинами (см. рис. 76, *а*) по мере приближения к фасаду должно быть меньше и что окно должно полностью экранироваться даже при высоко стоящем солнце.

Установка под углом или профилирование пластин хотя и ведет к усилению шума во время дождя, однако позволяет сэкономить материалы. При конструировании необходимо обратить внимание на то, чтобы пластины, которые, как правило, состоят из легкого металла, могли беспрепятственно удлиняться.

Выступающие конструкции, такие, как карнизы, балконы, лоджии (рис. 77, *а*) и др., в солнцезащитном отношении могут быть приравнены к неподвижным горизонтальным диафрагмам. На них распространяются поэтому те же закономерности, что и на солнцезащиту.

Неподвижные вертикальные диафрагмы в средних широтах следует применять в крайнем случае на восточных и западных фасадах. Эффективность отдельных диафрагм зависит от угла их наклона. Чем он больше, тем хуже и меньше естественное освещение помещений.

Поворотные горизонтальные и вертикальные диафрагмы применяют для ориентации по всем направлениям, так как они в зависимости от положения Солнца могут быть закрыты больше или меньше. Поворотные горизонтальные диафрагмы (рис. 77, *б*) должны быть смонтированы на некотором расстоянии от фасадной поверхности, иначе при наклонной установке и открытых окнах они направляли бы поднимающийся вдоль фасада теплый воздух внутрь здания. Эта проблема отсутствует для вертикальных поворотных диафрагм.

Наоборот, преимущество поворотных горизонтальных диафрагм перед вертикальными состоит в лучшей регулируемости падения

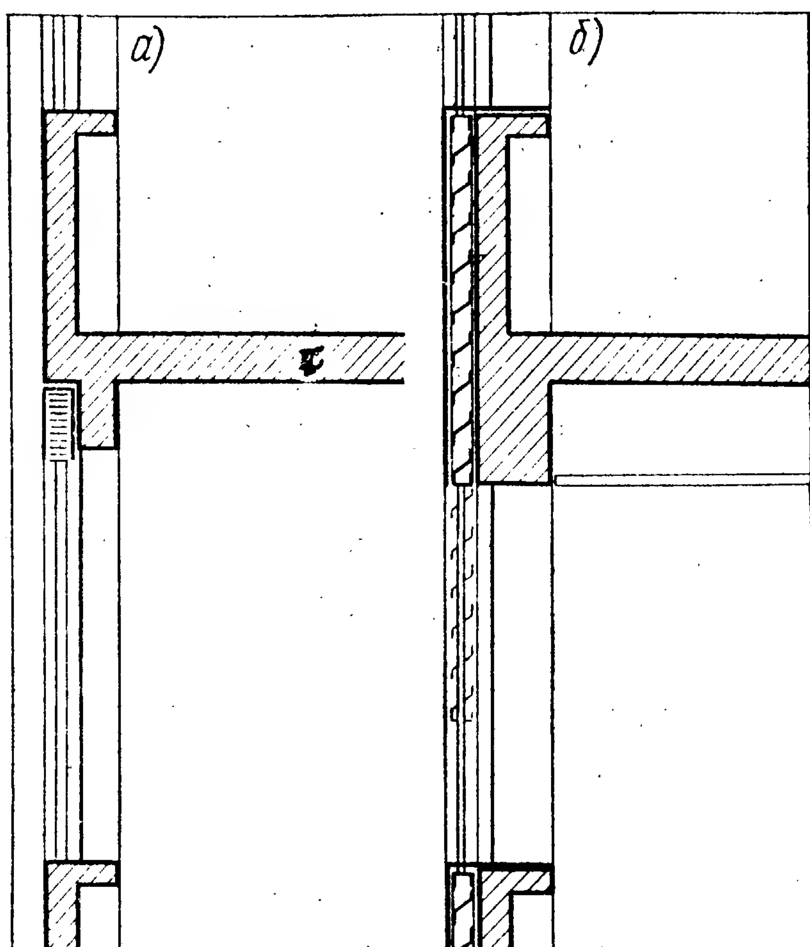


Рис. 78. Располагаемые снаружи пластинчатые шторы и жалюзийные рамы

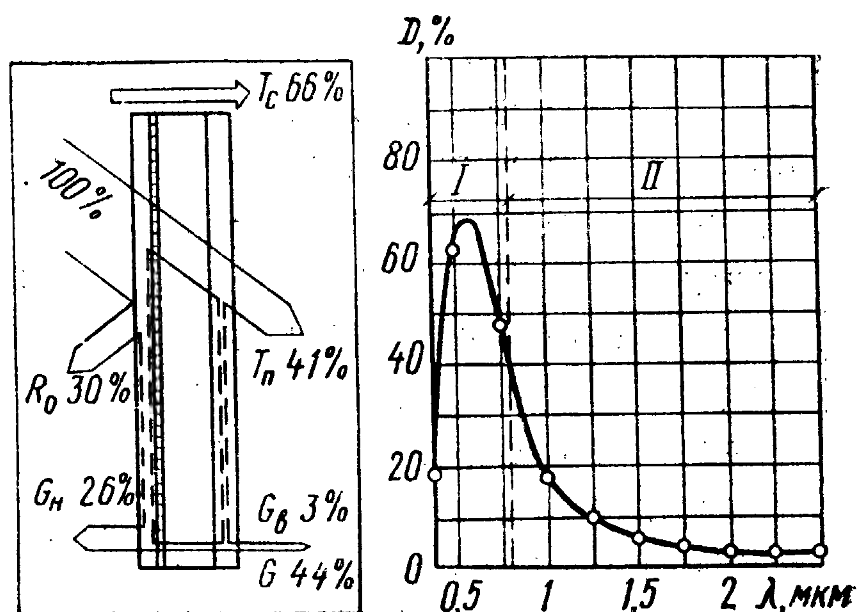


Рис. 79. Устройство и принцип действия солнцезащитного стекла «Auresin 66/44»
I — видимое излучение; II — инфракрасное излучение

Угол падения излучения — 36°; вся энергия излучения=100%; R_0 — отраженное излучение=30%; $G_н$ — излучение и конвекция наружу=26%; $T_п$ — передача излучения = 41%; $G_в$ — излучение и конвекция внутрь = 3%; G — общая передача энергии = 44%; T_c — светопропускание = 66%.

рассеянного света. Размеры и расстояние между диафрагмами определяются наиболее низким экранируемым падением солнечных лучей. Обзор и освещенность помещений сильно ограничиваются этими солнцезащитными устройствами.

Пластинчатые шторы (жалюзи) — наиболее гармоничный тип солнцезащиты. Они пригодны для всех фасадов и благодаря своей подвижности не затрудняют ни обзора, ни освещения помещений. В зависимости от положения солнца пластинчатые шторы (рис. 78, *а*) могут быть закрыты больше или меньше. За счет поворота своих пластин, изготовляемых, как правило, из алюминия, оказывается возможным хорошее регулирование рассеянного света. Однако вследствие облегченной конструкции и многократных открываний и закрываний располагаемые снаружи пластинчатые шторы создают помехи. Поэтому следует обратить внимание на прочное крепление пластин (для чего больше пригодны рельсы, чем канаты).

Для высоких зданий пригодны лишь устойчивые против резких порывов ветра конструкции и (или) регулируемые в зависимости от погоды устройства.

Преимущества жестких горизонтальных диафрагм и подвижных пластинчатых штор соединяют в себе так называемые жалюзийные рамы (рис. 78, *б*). При этом речь идет о косо установленных или профилированных горизонтальных пластинах, которые при отсутствии в них надобности хранятся перед парапетом ближайшего верхнего этажа. Все рамы, расположенные вертикально одна над другой, связаны между собой таким образом, что могут быть сдвинуты в рабочее положение только одновременно. Другим недостатком конструкций является тот факт, что для их установки высота окон долж-

на быть равна высоте парапета и высоте междуэтажной перегородки.

Шторы — эффективная солнцезащита лишь в малоэтажных жилых и торговых зданиях. Решающим для определения их эффективности являются наличие консоли и проницаемость применяемых материалов. Из-за застоя теплого воздуха под шторами и повышенного воздействия ветра они меньше пригодны для затенения окон высоких зданий. Лучше устанавливать на достаточно большом расстоянии от фасада так называемый солнцезащитный парус из покрытой слоем поливинилхлорида ткани [7].

5.4. Солнцезащитные устройства в плоскости окна. Солнцезащитное остекление [69, 231] может быть условно разделено на две группы: остекление, которое благодаря усиленному отражению невидимой доли излучения уменьшает тепловое излучение, и остекление, которое вследствие усиленной абсорбции уменьшает общую передачу тепла. При этом следует обратить внимание на то, что оба вида солнцезащитного остекления в соответствии со своей светопропускной способностью снижают освещенность помещения. В наших широтах находят предпочтительное применение солнцезащитные стекла со светопропускной способностью около 40—60%.

Избирательно отражающее стекло представляет собой двойное нормальное кристаллическое зеркальное стекло, которое на внутренней стороне наружного слоя имеет покрытие из нанесенного путем конденсации золота или серебра. Этот слой имеет свойство особенно сильно отражать инфракрасное излучение и в меньшей степени видимый свет. Поэтому и употребляется название «избирательно отражающее стекло».

На рис. 79 показаны устройство и принцип действия солнцезащитного стекла типа «Аурезин 66/44». Внутрь пропускается лишь 44% всего излучения, в то время как светопроницание составляет 66%. С другой стороны, это означает, что стекло не может действовать как защита от ослепления. Для этого должны быть выполнены дополнительные мероприятия.

Абсорбирующие стекла состоят из одного окрашенного в массе и одного кристаллического зеркального стекла. Они абсорбируют до 80% падающей на них энергии; преобразованная в тепло, она путем излучения и конвекции отдается наружу и внутрь. Преимущество незначительного прямого излучения повышается в дальнейшем за счет теплоотдачи стекла внутрь. Поэтому абсорбирующие стекла следует применять преимущественно как диафрагмы, устанавливаемые перед фасадом с образованием за ним вентилируемой прослойки.

На рис. 80 приведены устройство и принцип действия абсорбирующего стекла «Parsol bronze». Им абсорбируется 58% падающего на него излучения, которое преобразуется затем в тепло. Следует отметить его незначительную проницаемость для света, составляющую около 36%. При небольшой наружной освещенности,

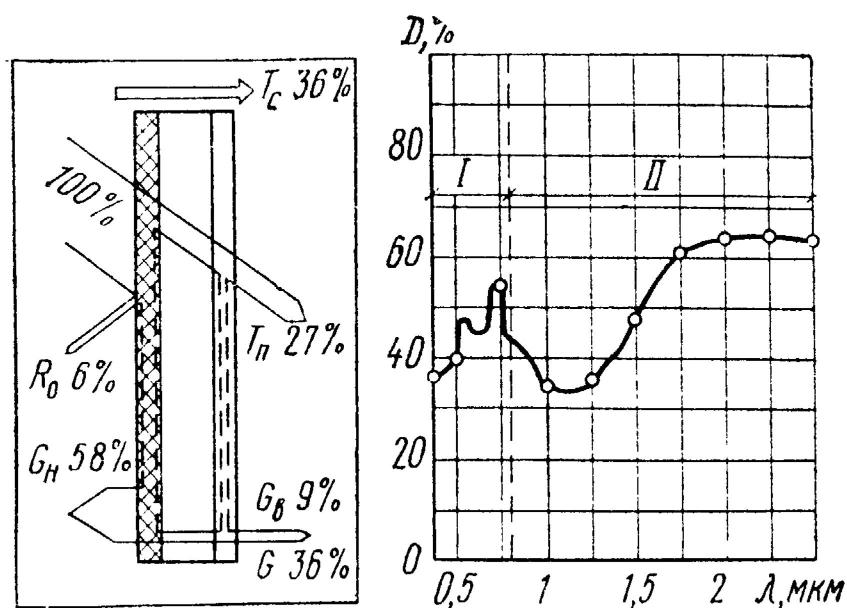


Рис. 80. Устройство и принцип действия солнцезащитного стекла «Parsol bronze»

I — видимое излучение; II — инфракрасное излучение

Угол падения излучения — 36°; вся энергия излучения = 100%; R_0 — отраженное излучение = 6%; $G_н$ — излучение и конвекция наружу = 58%; $T_п$ — передача излучения = 27%; $G_в$ — излучение и конвекция внутрь = 9%; G — общая передача энергии = 36%; T_c — светопропускание = =36%

прежде всего зимой, может оказаться необходимым искусственное освещение в течение всего дня.

Солнцезащитные устройства (пластинчатые шторы) *между стеклами* окна могут считаться эффективными лишь условно. Нагреваясь и абсорбируя излучение, они повышают температуру межстекольного пространства до 40° С и более [33]. Благодаря этому внутреннее стекло сильно нагревается, и в свою очередь, отдает тепло помещению. Поэтому необходимо постоянно отводить образующееся в межстекольном пространстве тепло наружу. Выполнить это через прорезы для вентиляции в нижних и верхних оконных рамах затруднительно, а это ведет к загрязнению трудно очищаемых внутренних поверхностей стекла.

5.5. Солнцезащитные устройства, располагаемые внутри помещений. Существенным недостатком солнцезащиты, располагаемой внутри помещений (пластинчатых штор, портьер, занавесей), является то, что она экранирует солнечное излучение лишь тогда, когда оно уже проникло в помещение и после поглощения защитным устройством нагревает помещение. Поэтому при применении располагаемых внутри пластинчатых штор следует позаботиться о принудительной вентиляции.

Светлые занавеси с высокой степенью отражения более эффективны в качестве солнцезащиты, чем располагаемые внутри пластинчатые шторы, так как они не так сильно нагреваются. Однако для регулирования освещенности и в качестве защиты от блескости, особенно если в зимние месяцы низко стоящее Солнце глубоко освещает помещение, располагаемые внутри защитные устройства могут быть незаменимы.

6. Естественная вентиляция. Действие естественной вентиляции днем относительно невелико, так как, во-первых, благодаря совпадению (особенно при юго-западной и западной ориентации) максимального солнечного излучения и максимальных температур наружного воздуха возникают лишь незначительные перепады температур между воздухом помещения и наружным воздухом и поэтому лишь очень небольшое количество тепла может быть отведено наружу и, во-вторых, возможный часовой воздухообмен ограничен, так как высокие скорости движения воздуха создают некомфортные условия для людей, находящихся в помещении. Поэтому следует стремиться к сквозному проветриванию.

Значительно более действенна вентиляция ночью, когда наружный воздух относительно холоднее, и большая часть тепла, аккумулированного за день окружающими помещение конструкциями, может быть отведена наружу. Солнцезащитные устройства не должны препятствовать возможности вентиляции через окно.

7. **Кондиционирование.** Мероприятия, связанные с устройством искусственного кондиционирования, вследствие обусловленных ими больших капитальных вложений и эксплуатационных расходов следует предусматривать лишь в сочетании с солнцезащитными мероприятиями.

ТРЕБОВАНИЯ И ОЦЕНКА

1. **Тепловая нагрузка внутреннего помещения.** Необходимость в определенных солнцезащитных мероприятиях определяется путем сопоставления для рассматриваемого помещения тепловой нагрузки и теплоаккумулирующей способности ограждающих помещение конструкций. Тепловая нагрузка внутреннего помещения складывается в основном из следующих компонентов: 1) тепла, поступающего внутрь помещений через окно и зависящего от интенсивности излучения, падающего на фасад, размера окон и их энергетической проницаемости (обозначаемой как показатель стекла G); 2) из тепла, попадающего внутрь помещений через обычные наружные поверхности (наружные стены, крыши), доля которого всегда существенно меньше доли тепла, попадающего внутрь через окна; 3) из тепла, излучаемого в самом помещении, например, отопительными приборами, людьми. При этом следует учитывать количество тепла, отводимого из внутреннего помещения через вентиляцию или вследствие охлаждения.

Тепловая инерция помещения зависит прежде всего от размеров помещения, т. е. площади поверхности конструкций, окружающих помещение, и от тепловосприятия внутренних конструкций. Изменение одного или нескольких факторов, например выбор материала с большей теплоаккумулирующей способностью для конструкций, окружающих помещение, или принятие соответствующего светотехническим условиям размера окон, может сделать применение дорогих солнцезащитных мероприятий излишним.

2. **Определение необходимых солнцезащитных мероприятий.** Предложено [131] значение показателя стекла G, предотвращающего вредный нагрев помещения через окна, определять как функцию отношения площади поверхности окна $S_{ок}$ к площади внутренней поверхности помещения $S_а$, которое окружено конструкциями определенной объемной массы γ. При этом различают: $\gamma \leqslant 500$ кг/м^3 — легкая конструкция, $\gamma = 1000$ кг/м^3 — конструкция средней массивности, $\gamma \geqslant 1500$ кг/м^3 — тяжелая конструкция.

Площадь аккумулирующей поверхности $S_а$ легкой конструкции. При определении теплового баланса помещений [131] площадь аккумулирующей тепло поверхности $S_а$ определяется как сумма площа-

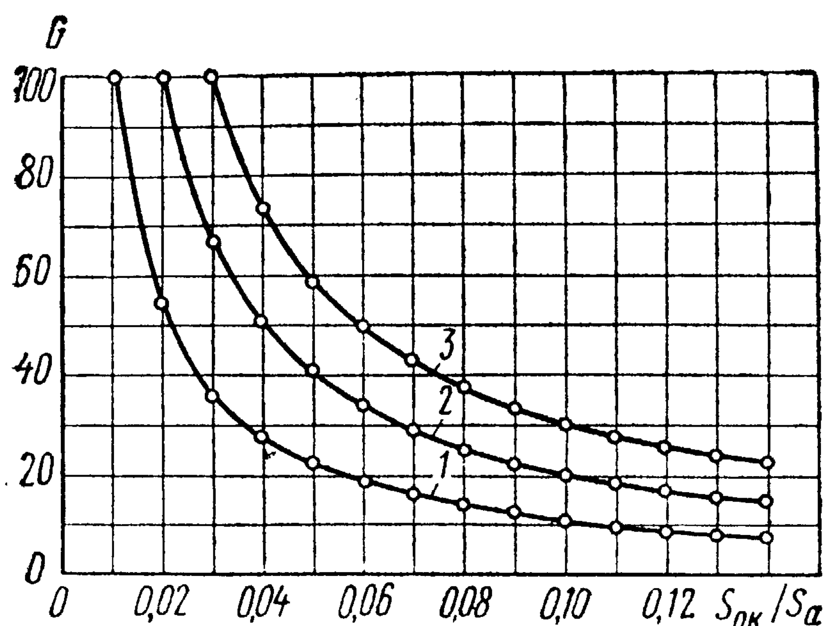


Рис. 81. Требуемые значения показателя стекла в зависимости от отношения $S_{ок}/S_а$ для различных видов конструкций [131]

1 — легкая конструкция ($\rho \leqslant 500$ кг/м³); 2 — конструкция средней массивности ($\rho = 1000$ кг/м³); 3 — массивная конструкция ($\rho \geqslant 1500$ кг/м³)

дей, окружающих помещение конструкций, за вычетом из-за воздействия солнечного излучения площади наружных стен.

При определении площади аккумулирующей поверхности для средних и тяжелых конструкций во внимание не принимаются поверхности с теплоизолирующими покрытиями в виде стеновых облицовок, акустических плит, деревянных полов, толстых ковровых покрытий, встроенных шкафов. Однако площадь поверхности дверей ни в коем случае не исключается. Площадь окна $S_{ок}$ исследуемого помещения определяется по размеру проема для полностью открытого окна.

На рис. 81 приведены требуемые значения показателя стекла G для окна помещения в зависимости от отношения площади окна к площади аккумулирующей поверхности $S_а$ и объемной массы

ТАБЛИЦА 18. ПОКАЗАТЕЛИ СТЕКЛА ДЛЯ ОКОН РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ (ПО ГЕРТИСУ) [131]

Конструкция окна	Показатель стекла G
Одинарное прозрачное стекло	80—90
Двойное остекление прозрачным стеклом	60—80
Тройное остекление прозрачным стеклом	50—75
Двойное остекление прозрачным стеклом со светлым занавесом или с расположенным внутри солнцезащитным устройством	45—65
Солнцезащитное остекление (двойное стекло: внутреннее — прозрачное, наружное — специальное):	
абсорбирующее	35—50
отражающее	20—30
Одинарное остекление с солнцезащитной пленкой	25—40
Одинарное или многократное остекление с расположенным снаружи солнцезащитным устройством	10—25

γ конструкций, окружающих помещение. В табл. 18 приведены значения показателя стекла G в зависимости от конструкции окон Эти данные позволяют уже при проектировании определить соответствующие мероприятия против слишком больших летних тепловых нагрузок в зависимости от площади окон, площади аккумулирующих тепло внутренних поверхностей и объемной массы материала внутренних конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

2, 7, 9, 15, 26, 33, 36, 40, 41, 69, 73, 74, 77, 89, 101, 121, 122, 123, 124, 130, 131, 134, 161, 162, 193, 231, 236, 253, 261, 288, 294, 295, 296, 297, 300, 314, 365.

ПРИМЕРЫ

ПРОВЕРКА МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПЕРЕГРЕВА ПОМЕЩЕНИЙ ЛЕТОМ

Задание. С целью предотвращения летнего перегрева жилого помещения (рис. 82) необходимо определить показатель стекла G для конструкции окна. Стены выполнены из полнотелого силикатного кирпича, перекрытия — из железобетона. Полы устроены в виде паркетного настила, задняя стена закрыта встроенным шкафом. Помещение имеет два окна. Размеры помещения и окон (по кладке) следующие (м): ширина помещения b — 5,385, глубина помещения t — 4,26, высота помещения h — 2,55, ширина окна $b_{ок}$ — 2,01, высота окна $h_{ок}$ — 1,5.

Значение показателя стекла G зависит от вида окружающих помещение конструкций и от отношения площади окон $S_{ок}$ к площади аккумулирующих тепло поверхностей $S_а$.

Последовательность расчета: определение типа окружающих помещение конструкций, площади окна $S_{ок}$, площади аккумулирующих тепло поверхностей $S_а$, отношения площади поверхности окон $S_{ок}$ к площади поверхности, аккумулирующей тепло $S_а$, установление значения требуемого показателя стекла G, вывод.

Тип конструкций, окружающих помещение, определяется плотностью материалов, из которых они состоят:

стены из полнотелого силикатного кирпича $\gamma = 1600$ кг/м³;

перекрытия из железобетона $\gamma = 2200$ кг/м³;

штукатурка из известкового раствора $\gamma = 1600$ кг/м³.

Отсюда следует, что конструкции, окружающие помещение, относятся к тяжелым ($\gamma > 1500$ кг/м³). При одновременном использовании легких и тяжелых конструкций в одном помещении требуются более сложные расчеты для определения соответствующего показателя стекла.

Площадь окон $S_{ок}$ определяется по строительному размеру открытого проема (для двух окон): $S_{ок} = 2\cdot2{,}01\cdot1{,}5 = 6{,}03$ м².

3. Определение площади поверхностей, аккумулирующих тепло. При определении площади поверхности тяжелых конструкций поверхности с теплоизолирующими покрытиями—в данном случае это задняя стена со встроенным шкафом и полы с паркетным покрытием — должны быть исключены. Наружная стена также исключается из расчета. Таким образом, площадь поверхности помещения $S_п$ равна: $S_п = 2\cdot5{,}385\cdot4{,}26 + 2\cdot5{,}385\cdot2{,}55 + 2\times\times 4{,}26\cdot2{,}55 = 95{,}07$ м²; площадь исключаемых поверхностей составляет: задняя стена $5{,}385\cdot2{,}55 = 13{,}73$; пол $5{,}385\cdot4{,}26 = 22{,}94$; наружная стена $5{,}385\cdot2{,}55 = 13{,}73$; сумма площадей равна 50,4 м².

Площадь аккумулирующей тепло поверхности: $S_а = 95{,}07 - 50{,}4 = 44{,}67$ м².

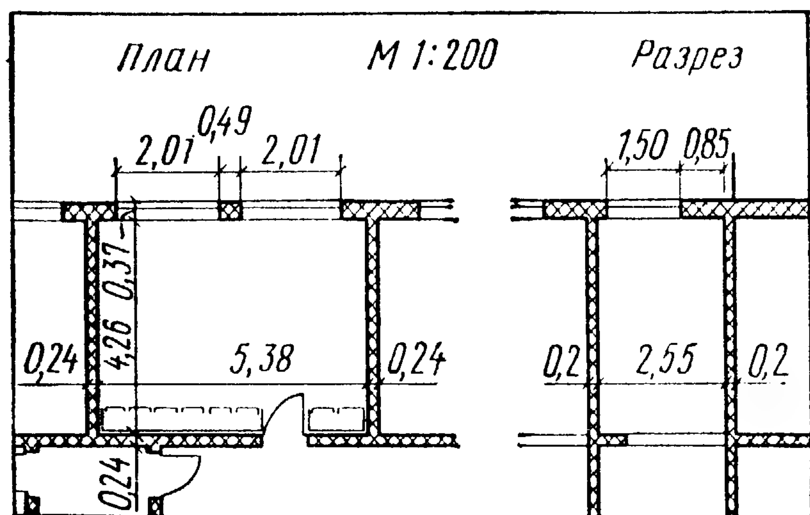


Рис. 82. План и разрез жилого помещения

Отношение $S_{ок}/S_а = 6{,}03/44{,}67 = 0{,}135$.

Значение $S_{ок}/S_а = 0{,}135$ наносят на ось x рис. 81. По точке пересечения прямой, параллельной оси y и проходящей через отмеченное на оси x значение $S_{ок}/S_а$, с кривой 3 (тяжелые конструкции) определяют на оси y требуемое значение показателя стекла: $G = 23$.

По табл. 18 устанавливают, что для достижения полученного значения показателя стекла ($G = 23$) должно быть предусмотрено остекление с отражающими солнцезащитными стеклами или двойное остекление с солнезащитными устройствами, расположенными снаружи.

Если хотят избежать выполнения дорогих солнцезащитных мероприятий, например, путем уменьшения ширины окон до 1,51 м (что соответствовало бы изменению их площади на 25% и при этом освещение помещения дневным светом было бы еще достаточным), то при соответствующем значении отношения $S_{ок}/S_а$ можно было бы довести значение показателя стекла G до 30. Однако в этом случае устройство солнезащитного остекления было бы еще необходдимо.

С другой стороны, можно было бы увеличить площадь аккумулирующей тепло поверхности, например, паркетный настил заменить поливинилхлоридным покрытием, тогда значение отношения $S_{ок}/S_а$ будет равным 0,09. Определяемое этим отношением $S_{ок}/S_а$ значение показателя стекла $G = 33$ также не принесет желаемого результата.

Лишь одновременное использование обоих мероприятий может при отношении $S_{ок}/S_а = 0{,}067$ привести к значению показателя стекла G, равному 15, которое могло быть обеспечено применением двойного остекления и солнцезащитных устройств, располагаемых внутри.

Эти положения свидетельствуют о том, что приемлемые условия микроклимата помещения летом без чрезмерных затрат могут быть достигнуты лишь при применении на стадии проектирования всех имеющихся в распоряжении проектировщика солнцезащитных устройств.

Часть III

ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ

ФИЗИКА И ФИЗИОЛОГИЯ

С точки зрения строительной физики приводимый ниже раздел «Акустика» может быть разделен на два подраздела — акустика помещений и звукоизоляция.

Акустика помещений рассматривает проблемы распространения звука внутри помещения для достижения благоприятного «акустического климата».

Другая упомянутая область касается воздействия и распространения звука от одного помещения к другому, а также от одной зоны к другой. При этом речь идет как о конструктивной звукоизоляции,

так и о звукоизоляции в свободном пространстве перед зданием, причем последнюю следует рассматривать постольку, поскольку она может влиять на конструктивную звукоизоляцию.

Конструктивные мероприятия по звукоизоляции включают планировочные решения по размещению (с учетом их влияния на акустику) технических приборов и оборудования, рассмотрение разделяющих помещения элементов с учетом их звукоизолирующих свойств, а также дверей, окон и конструктивных отверстий.

1. Звук как волновое движение. Ощущение звука возникает благодаря тому, что колеблется ушная перепонка. Эти движения вызываются молекулами воздуха, которые колеблются в непосредственной близости от перепонки. При этом речь идет о механических колебаниях молекул любой материи, рассматриваемой чисто физически. В качестве возбудителя (источника звука) служат колеблющиеся частицы и объемы газа или быстро истекающих газов или жидкостей. Происходит пространственный перенос этого движения, во время которого соседние молекулы под ударами других молекул побуждаются к аналогичным колебаниям (рис. 83).

Молекулы колеблются исключительно вокруг определенной оси, т. е. они сами перемещаются не далее определенного расстояния. Полное колебание осуществляется в течение периода T. Происходящее таким образом волновое движение называется звуковой волной. При пространственном распространении этой волны, в зависимости от присутствующих там молекул, образуются одинаковые колебательные состояния, так называемые фазы. Расстояние между двумя одинаковыми фазами называется длиной волны λ. Она зависит от частоты f этого движения, числа колебаний в секунду. Чем выше частота, тем меньше длина волны, которая, в свою очередь, зависит от скорости распространения звука c. Скорость распространения звука зависит от среды, передающей звук. Длина звуковой волны измеряется в см или в м, частота — в Гц или кГц. 1 Гц соответствует одному колебанию в 1 с. Во время одного периода звуковая волна распространяется на одну длину волны.

Зависимость между названными выше величинами может быть представлена следующим образом:

$$c=\lambda\,\frac{1}{T}\ \text{м/с или}\ c=\lambda f\ \text{м/с}. \qquad (65)$$

Скорость звука в воздухе при температуре t составляет:

$$c=331{,}4+0{,}6t\ \text{м/с} \qquad (66)$$

Речь идет о так называемых продольных волнах, которые называются так благодаря тому, что колеблющиеся частицы движутся вдоль оси направления распространения.

В твердых телах, напротив, наряду с продольными волнами происходит образование поперечных и огибающих волн, которые в звукоизоляции конструкций играют решающую роль. В противоположность скорости распространения $c_{\text{п}}$ продольных волн скорость

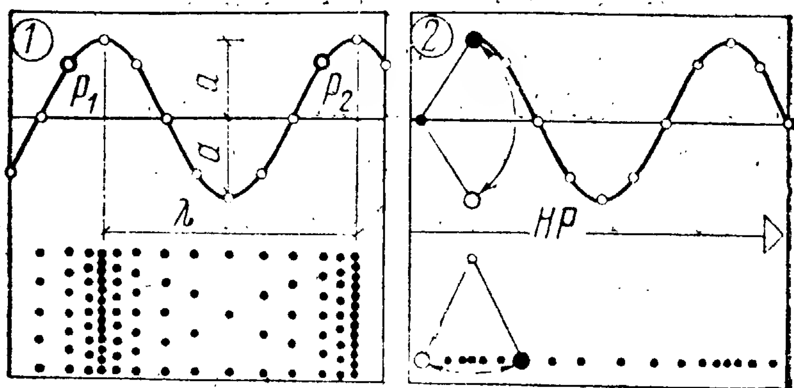


Рис. 83. Волновое движение. Распределение молекул (1) зависит от длины волны λ и амплитуды a; p_1 и p_2 — точки одинакового фазового положения. При поперечной волне (2, вверху) частицы колеблются поперек, при продольной волне — вдоль направления распространения (НР)

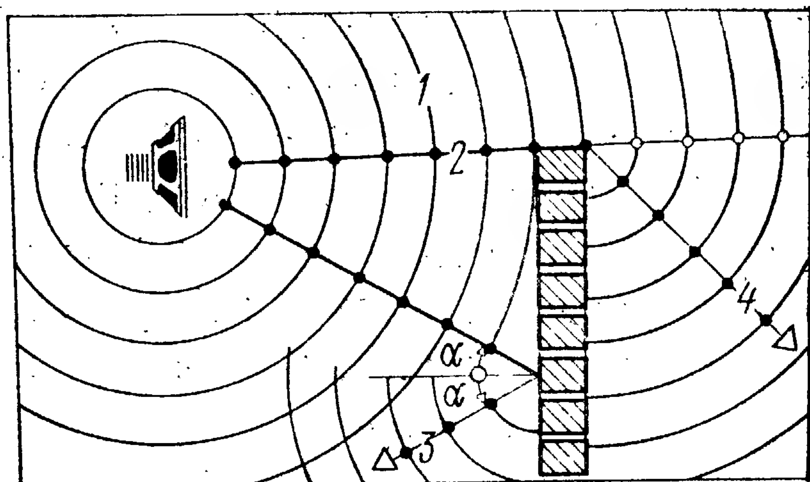


Рис. 84. Распространение звука

1 — волновой фронт; 2 — волновой луч; 3 — волновой луч отраженной звуковой волны; 4 — волновой луч звуковой волны при огибании препятствия

распространения огибающих волн c_0 в однородных плитах толщиной d, пропорциональна корню квадратному из значения частоты,

$$c_0=1{,}4\sqrt{c_{\text{п}} fd}, \text{ м/с}. \qquad (67)$$

Все виды волн, в том числе продольные звуковые волны в воздухе, определяются как поперечные волны. Звуковые волны (воздушные) расходятся при беспрепятственном распространении прямолинейно во всех направлениях (шарообразно). При этом соединительные линии точек одинаковой фазы на направлениях указанных излучений волн образуют так называемые волновые фронты (рис. 84). Если звуковые волны встречаются с достаточно большим препятствием, то по законам геометрической акустики, т. е. (по закону «угол падения звукового излучения равен углу отражения»), они отражаются и часть волн возвращается в помещение. При этом, однако, часть звуковой энергии теряется и абсорбируется, проникая в препятствие. Там звуковая энергия частично превращается в тепловую. Наиболее определенно это явление, называемое диссипацией (рассеянием), проявляется в материалах с открытой пористостью. Остаток энергии передается в соседнее помещение.

Если длина звуковой волны по своему значению больше или примерно равна размерам препятствия, то она огибает это препятствие и ее распространение подчиняется тогда не только описанным закономерностям отражения. Звуковые волны попадают при этом в область «звуковой тени» сзади препятствия. Это явление, называемое дифракцией, усиливается с увеличением длины волны и имеет особое значение для акустики помещений и при распространении шума в свободном пространстве, ограниченном экранирующими конструкциями. Если волны встречаются одна с другой, они суммируются, причем таким образом, что колебательные движения или усиливаются, или ослабляются.

Чтобы произвести относительно точный анализ шума, его распределяют частями на отдельные шумы небольшой полосы частот.

В качестве отрезка или ширины полосы частот в звукоизоляции установлен интервал — октава, т. е. частотное удвоение, или терция — треть октавы. Условно в качестве международного интервала измерения приняты терциальные полосы, которые практически применяются и в ФРГ. По точности анализа это хорошо согласуется с возможностями человеческого уха. Кроме того, имеются предложения по унификации единой средней частоты полосы (табл. 19), которые были приняты в соответствующих нормах DIN. В качестве нормальной или эталонной частоты служит при этом частота 1000 Гц.

ТАБЛИЦА 19. ТЕРЦИАЛЬНЫЕ ПОЛОСЫ ЧАСТОТ

$f_н$	$f_{ср}$	$f_в$	$f_н$	$f_{ср}$	$f_в$	$f_н$	$f_{ср}$	$f_в$
14	**16**	18	112	**125**	140	900	**1000**	1120
18	20	23	140	160	180	1120	1250	1400
23	25	28	180	200	230	1400	1600	1800
28	**32**	36	230	**250**	280	1800	**2000**	2300
36	40	45	280	320	360	2300	2500	2800
45	50	56	360	400	450	2800	3200	3600
56	**63**	71	450	**500**	560	3600	**4000**	4500
71	80	90	560	630	710	4500	5000	5600
90	100	112	710	800	900	5600	6300	7100

Примечание. Выделены средние частоты октав: $f_н$ — нижняя граничная частота; $f_{ср}$ — средняя частота полосы; $f_в$ — верхняя граничная частота.

2. **Звук как носитель энергии.** Причиной возникновения звуковой волны являются колеблющиеся частицы материи. При движении частиц их внутренняя энергия передается другим частицам и распространяется в пространстве благодаря звуковой волне. Показателем звуковой энергии служит удаление отдельной колеблющейся частицы от своего положения покоя, т. е. амплитуда a (см) колебания или звуковой волны. При одинаковой длительности колебание с большой амплитудой обладает бóльшей энергией, чем колебание с меньшей амплитудой. Частицы движутся при этом с различными звуковыми скоростями v вокруг своего положения покоя. Скорости звука, которые не следует смешивать с постоянной скоростью распространения звука c, характеризуют величину содержащейся в звуковой волне энергии v (см/с). Она может быть рассчитана следующим образом:

$$v = 2\pi f a. \qquad (68)$$

Благодаря движению молекул воздуха вдоль воздушной звуковой волны образуются зоны повышенного и пониженного давления, которое суммируется с существующим давлением воздуха. Значение результирующего давления и есть давление звука p (Н/м²). Оно может быть использовано для измерения звуковой энергии

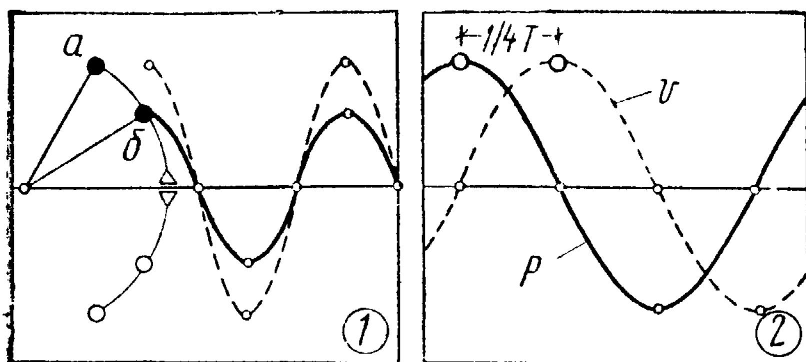


Рис. 85. Давление и скорость звука. Частица *а* проходит за то же время больший путь, чем частица *б*; скорость ее колебания больше (*1*). Кривая скорости *V* (*2*) сдвинута по отношению к кривой звукового давления *p* на 1/4 периода

волны. Между скоростью и давлением звука существует прямая расчетная и физическая зависимость.

Таким образом, скорость колеблющихся частиц является наибольшей, когда они проходят свое положение покоя, в котором давление равно нулю. Напротив, в точках поворота, в которых давление наибольшее, скорость звука равна нулю. Поэтому фазы скорости и давления смещены одна относительно другой на 1/4 периода (рис. 85). Следовательно, точкам максимума скоростей или минимума давлений соответствуют нулевые значения другого параметра. Давление звука p (Н/м^2) может быть вычислено по формуле

$$p = \rho_в c_в v. \tag{69}$$

Поскольку плотность воздуха $\rho_в$ и скорость распространения звука $c_в$ зависят от температуры, давление звука p также зависит от температуры. Для практических расчетов произведение $\rho_в c_в$, называемое полным акустическим сопротивлением, принимается равным 400 Н $\circ$ с/м^3, тогда

$$p = 400\,(Н \cdot с/м^3)\, v\,(м/с) = 400v,\ Н/м^2. \tag{70}$$

Звуковая энергия E (Дж/м^2), которая не может быть измерена прямым способом в зависимости от звукового давления p, площади измерения S и времени воздействия t, определяется по формуле

$$E = 2{,}5 \cdot p^2 St. \tag{71}$$

Однако при рассмотрении вопросов акустики часто оперируют интенсивностью звука J (Вт/м^2), называемой также силой звука:

$$J = E/(tS), \tag{72}$$

определяющей количество звуковой энергии, которая за единицу времени проходит через определенную площадь. Необходимая для этого мощность звука p (Вт) может быть вычислена по формуле

$$p = JS. \tag{73}$$

Вследствие того, что человек воспринимает звук лишь в определенных границах, звуковые давления ниже $2 \cdot 10^{-5}$ Н/м^2 не рассматриваются. Давление свыше 20 Н/м^2 ощущается уже как боль. Таким образом, создается область звукового давления, которая охватывает зону из 1 млн. единиц, хотя она представляет собой лишь ничтожную долю нормального давления воздуха ($p_{норм} \approx 10^5$ Н/м^2).

В практических расчетах употребляются числовые значения, представленные в логарифмическом измерении. Вводится понятие

так называемого уровня, в котором абсолютные величины берутся в отношении к определяемым величинам, и это отношение логарифмируется. Единицей измерения является децибел (дБ). Наиболее употребимая величина — уровень звукового давления, или просто уровень звука L (дБ). Он определяется расчетным путем, а в качестве базисной величины принимается минимальное, воспринимаемое как звук, звуковое давление $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Н/м²:

$$L = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2}, \text{ или } L = 20 \lg \frac{p}{p_0}. \tag{74}$$

Наряду с формальным преимуществом этих измененных цифровых величин еще одним преимуществом при использовании данных об уровнях является то, что прямолинейный подъем уровня, который был вызван экспоненциальным повышением звукового давления, воспринимается человеческим ухом, как повышающийся прямолинейно (рис. 86). Так, два одинаково громких источника звука при их совместном действии мы ощущаем не так громко, как удвоенный по громкости одиночный источник звука. Этот факт подтверждается и приводимой ниже расчетной формулой (75). Такое удвоение приводит к повышению уровня звукового давления только на 3 дБ. При определении уровней звука их основные величины (в данном случае квадраты звуковых давлений) суммируются, образуя логарифм суммы:

$$L_{\text{общ}} = 10 \lg \left(\frac{p_1^2}{p_0^2} + \frac{p_2^2}{p_0^2} + \ldots + \frac{p_n^2}{p_0^2} \right). \tag{75}$$

Напротив, повышение уровня на 10 дБ субъективно ощущается как удвоение громкости. При применении термина «значение уровня» необходимо указывать вид уровня, например, уровень акустической мощности $L_\text{м}$ или уровень скорости звука $L_\text{с}$. Только уровень звукового давления, как чаще всего употребляемый, обозначается, как и уровень шума, просто L.

Уровень звукового давления измеряется октавами или терциями и образует таким образом кривые уровней шума. Благодаря суммированию каждых трех терциальных уровней в один октавный при измерениях в октавных полосах частот значения уровня звукового давления оказываются лишь на 3—5 дБ большими.

При рассмотрении акустической обстановки изучают распространение корпусного шума; распространение воздушного шума в свободном пространстве; распространение воздушного шума в закрытых помещениях.

Корпусной шум возникает в твердых и жидких телах благодаря прямому возбуждению колебаний или благодаря возбуждению, полученному от колебаний воздуха. В твердых телах корпусной шум распространяется с соответствующей данному материалу скоростью. Для обозначения сохраняющейся при этом энергии применяется уровень скорости $L_\text{с}$.

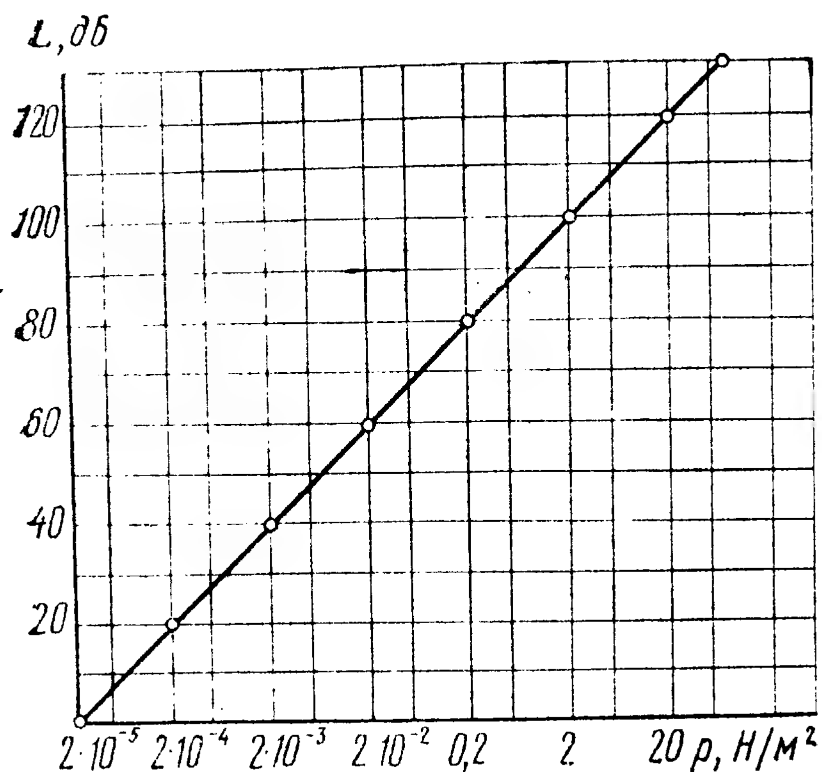


Рис. 86. Уровень звукового давления L (дБ) в зависимости от давления звука P (Н/м²)

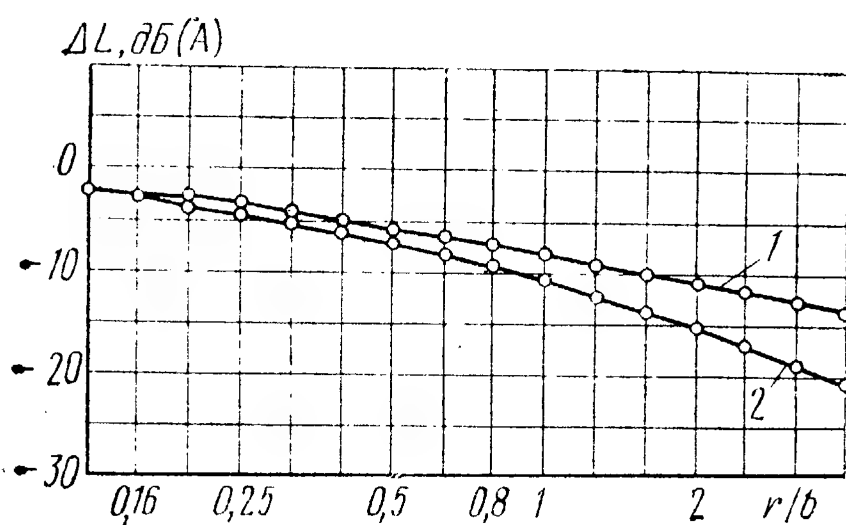


Рис. 88. Снижение уровня ΔL в свободном звуковом поле в зависимости от удаления r от поверхности плоского источника шума [57]

1 — источник шума в виде полосы шириной b; *2* — квадратная поверхность с длиной стороны b

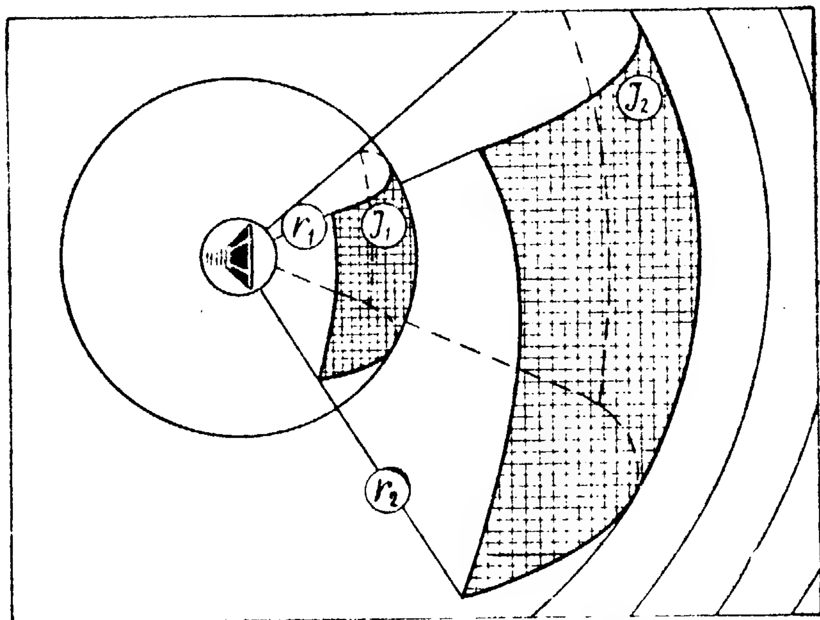


Рис. 87. Затухание звуковой волны. Интенсивность звука снижается с удалением от источника звука

Человеческого уха шум достигает, как правило, в виде воздушного шума; при этом интересно знать, как высок уровень звукового давления, который создается конструкцией, проводящей корпусной шум. Пересчет выполняют, используя значение излучаемой мощности звука P или уровень мощности звука $L_м$. Последний может определяться в зависимости от площади конструкции и способа излучения звука, или может измеряться известными способами [352].

В свободном пространстве или свободном звуковом поле воздушный шум распространяется беспрепятственно во все стороны. Волновые фронты образуют при этом шар, возникает шаровая волна. Поскольку при этом все время образуются шары со все большей поверхностью той же энергии, интенсивность звука и тем самым уровень шума по мере удаления от источника шума снижаются. Эта форма звукового воздействия называется геометрически расширяющимся затуханием (рис. 87). Влияние уровня шума такой звуковой волны в свободном звуковом поле обратно пропорционально расстоянию r. Это означает, что действие звука с удвоением расстояния снижается на 6 дБ. Эффект геометрически расширяющегося затухания усиливается различными явлениями поглощения. В соответствии с этим при известных измеренных уровне L_1 и расстоянии между источником шума и местом измерения уровня r_1 от точки — источника шума — уровень шума на другом удалении r_2 может быть вы-

числен по формуле

$$L_2 = L_1 - 20 \lg \frac{r_2}{r_1} \qquad (76)$$

При линейных источниках звука снижение уровня меньше:

$$L_2 = L_1 - 10 \lg \frac{r_2}{r_1} \qquad (77)$$

При плоских источниках звука снижение уровня звука зависит как от удаления, так и от простирания поверхности. Ожидаемое затухание звука при беспрепятственном его распространении представлено на рис. 88.

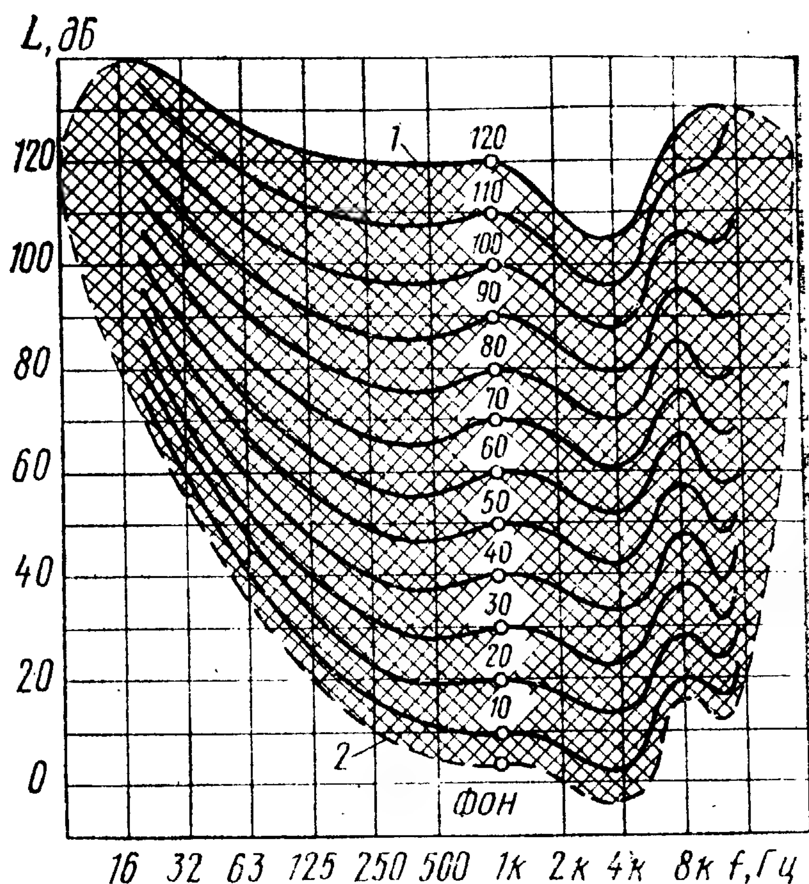


Рис. 89. Область слышимости. Кривые равной громкости для чистого тона по ISO R 226

1 — болевой порог; 2 — порог слышимости

Уровень шума снижается, если звуковые волны проходят над отражающей поверхностью. Уровень звука L (дБ) в свободном звуковом поле на удалении r при точечном источнике звука с уровнем мощности $L_м$ может быть вычислен по формуле

$$L = L_м - 20 \lg r - 11. \qquad (78)$$

Если источник звука покоится на отражающем основании, то уровень шума равен:

$$L = L_м - 20 \lg r - 8. \qquad (79)$$

При этом уровень мощности звука $L_м$ [352] соответствует уровню звукового давления L на поверхности шара или полушария площадью 1 м^2. По рис. 89 расстояние от источника звука составляет 0,4 м.

Звуковое поле в замкнутом помещении наряду с первичным уровнем характеризуется различного рода явлениями отражения, которые вскоре после испускания звукового импульса образуют такое большое число звуковых волн различных направлений распространения, что к этому моменту времени налицо все направления распространения и во всем помещении устанавливается равномерный уровень звука. Здесь речь идет о диффузном звуковом поле. Оно является предпосылкой многих теоретических положений в области звукоизоляции. Уровень звукового давления в диффузном поле вместе с излучаемым уровнем мощности источника звука находится в следующем соотношении с эквивалентной абсорбирующей поверхностью A:

$$L_{диф} = L_м - 10 \lg A + 6. \qquad (80)$$

Если большинство источников звука находится в помещении, то вся излучаемая ими мощность звука является решающей для уровня звукового давления.

Особого внимания заслуживает в этой связи повышение уровня шума в непосредственной близости от отражающих поверхностей в сравнении с уровнем шума на большом удалении. Поэтому закономерности диффузного (а также свободного) звукового поля не проявляются внутри области, ограничиваемой 1/4 длины волны от отражающей поверхности.

Уровень звука внутри этой области, благодаря так называемому подпору давления, повышается по отношению к свободному пространству: перед поверхностью — на 3 дБ (простое отражение), перед краем — на 6 дБ (двойное отражение), перед углом — на 9 дБ (утроенное отражение). Такой же эффект возникает при размещении источника звука в непосредственной близости от отражающей поверхности. Так, уровень мощности источника звука при установке перед плоской поверхностью повышается на 3 дБ, перед краем — на 6 дБ и в углу — на 9 дБ.

3. Звук как физиологически-психологическая величина. При определении акустических характеристик, основных понятий и указаний по измерениям одной из главных характеристик является разрешающая способность человеческого уха. Само понятие «звук» определяется как «механическое волновое движение в слуховой области человеческого уха». При этом эта слуховая область из-за наличия нижней и верхней пороговых частот (от $\approx$ 20 Гц до $\sim$ 20 кГц) представляет собой слуховую поверхность (см. рис. 89). Указанные границы колеблются в зависимости от индивидуальных особенностей, а в зоне высоких частот особенно сильно зависят от возраста. Верхняя граница может снижаться примерно до 12 кГц.

Вблизи 20 кГц, т. е. в инфразвуковой области, колебания воспринимаются уже не как звук, а просто как сотрясения; выше 20 кГц начинается не воспринимаемая человеческим ухом ультразвуковая область. По формуле (65) при комнатной температуре и длине звуковых волн от 17 м до 1,7 см могут быть получены значения скорости звука, которые с учетом размеров строительных конструкций имеют особое значение для акустики помещений и организации мероприятий по экранированию звука.

Границы слуховой поверхности, обусловленные звуковым давлением, были кратко упомянуты при разъяснении понятия уровня звука. Принятые значения порогов звукового давления действительны лишь для нормальной частоты 1000 Гц. Благодаря логарифмическому масштабу получается всего 120 единиц уровня, причем скачок уровня в 1 дБ еще ощущается человеческим слухом как разница в уровне. Порог болевого ощущения, как это показано на рис. 89, в большей степени зависит от частоты звука. Ниже этой границы звуковое давление не ощущается. По другую сторону верхней граничной линии ощущение звука переходит в болевое ощущение. Болевой порог зависит также от частоты, но в меньшей степени. Внутри слуховой области звук перерабатывается ухом в такой же форме, как и в краевой зоне. Громкости, которые ощущаются при воздействии звука, зависят от частоты. Это означает, что никзочастотному шуму

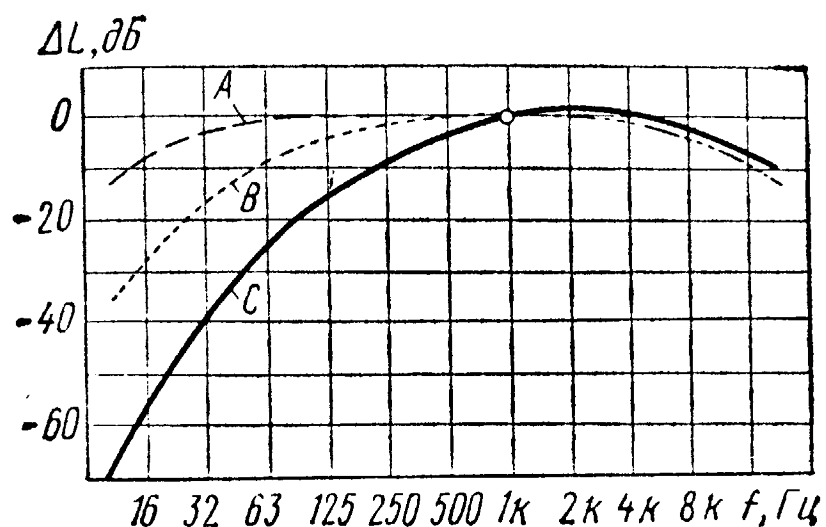


Рис. 90. Частотные нормативные кривые [351]

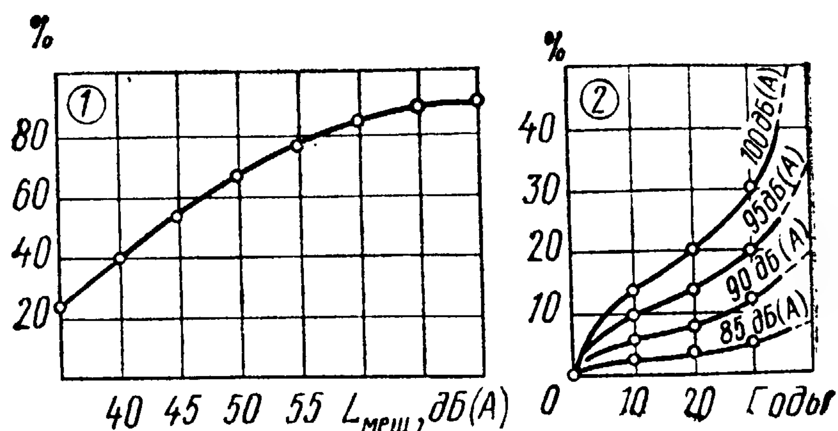


Рис. 91. Воздействие шума на людей

1 — возможность пробуждения от шума [291]; *2* — опасность повреждения слуха при ежедневном 8-часовом воздействии шума (по ISO ТС 34 WG 8)

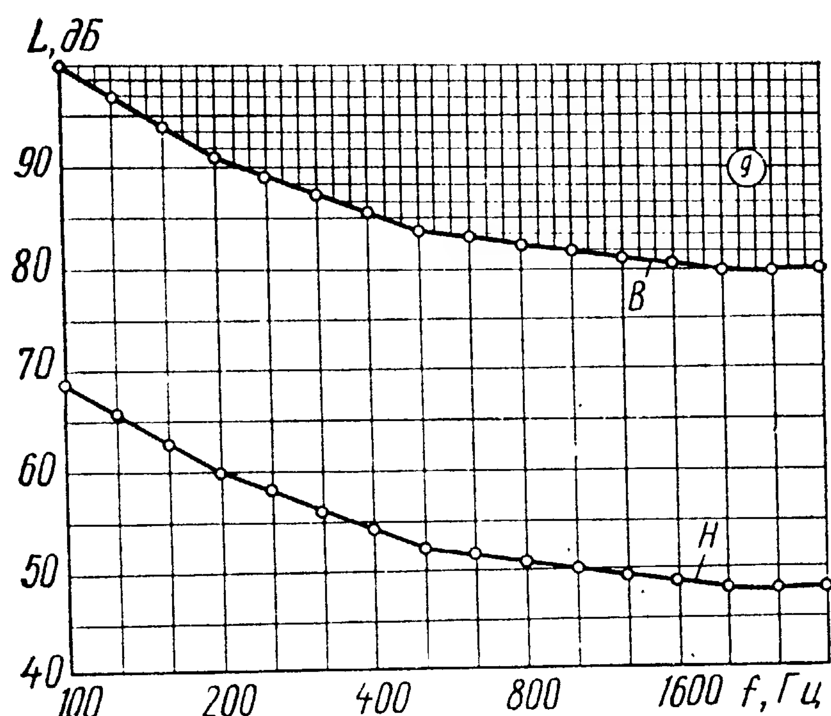


Рис. 92. Пороговые кривые для уровня шума, причиняющего неудобства (Н) и для вредного уровня (В). Уровень шума *g* опасен для здоровья при длительном воздействии

должен соответствовать намного более высокий уровень шума, чем шуму нормальной частоты. Для чистых тонов кривые равной громкости были определены эмпирически. Они также приведены на рис. 89. Наряду с частотной зависимостью известно, что убывание чувствительности уха к звуку низких частот в зонах низких уровней намного больше, чем в зонах высоких уровней.

Чтобы учесть это свойство уха в измерительных приборах, их свойства также должны зависеть от частоты. Благодаря этому может быть смоделирована чувствительность слуха. При этом в приборах предварительно переключаются взвешивающие фильтры, которые работают в соответствии с нормативными частотными кривыми, изображенными на рис. 90. Прибор (как и ухо) становится в определенных зонах частот менее чувствительным, чем при нормальной частоте. В качестве измеряемых величин служат оцениваемые с индексами А, В или С уровни шума, измеренные в дБ.

Звук, как правило, состоит из ряда отдельных импульсов и шумов различных уровней, поэтому принимать во внимание одну лишь разрешающую способность уха недостаточно. Необходимо учитывать в расчете колебание уровней. Это является доказательством того, что ни данные измеренных максимальных значений, ни средние арифметические значения не могут быть единственной основой для оценки. До настоящего времени удовлетворительное решение этой проблемы не найдено. Лучшим методом измерения уровня длительного шума является установление его эквивалентного $L_{экв}$ или среднего $L_{A_{ср}}$ уровня [353]. Он базируется на предположении, что

ТАБЛИЦА 20. ОБЛАСТИ УРОВНЕЙ ШУМА

Уровень шума, дБ	Восприятие шума	Источник шума
130 (C)	Невыносимо	Винтовой самолет, 5 м
120 (C)	»	Пневматический молот, 1 м; реактивный самолет, 100 м
110 (C)	»	Пневматический молот, 3 м; ковка котла
100 (C)	Очень громко	Автомобильная сирена, 5 м; ткацкое производство
90 (C)	То же	Грузовой автомобиль, 5 м
80 (B)	»	Громкая радиомузыка
70 (B)	Громко	Разговор, 1 м
60 (B)	»	Разговор 2 м; автомобиль 10 м
50	Тихо	Разговор вполголоса, 2 м
40 (A)	»	Жилая квартира не на магистрали; холодильник.
30 (A)	Очень тихо	Тихий сад; тикание будильника, 5 м;
20 (A)	То же	тикание карманных часов
10 (A)	Неслышно	Порог слышимости
0 (A)	»	

ТАБЛИЦА 21. УРОВЕНЬ ШУМА ОТ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ [43]

Источник шума	Уровень шума, дБ		
	максимальное	среднее	минимальное
Большой оркестр в концертном зале	110 (C)	90 (C)	50 (C)
Оркестр легкой музыки в ресторане	—	90 (C)	—
Дискотеки	110 (C)	90 (C)	70 (C)
Общий шумовой фон	—	50 (A)	—
Радиомузыка	85 (A)	60 (A)	45 (A)
Разговор:			
громкий, 1 м	80 (A)	—	70 (A)
нормальный, 1 м		68 (A)	
тихий, 1 м	50 (A)		60 (A)
Рабочее помещение:		—	
для трех человек	—	55 (A)	—
для десяти человек	—	60 (A)	—
для 50 человек	—	65 (A)	—
Пишущая машинка, 2 м	60 (A)	—	70 (A)
Телефонный звонок, 2 м	—	75 (A)	—
Торговое предприятие:			
небольшое	60 (A)	55 (A)	50 (A)
более 6 чел.	67 (A)	61 (A)	55 (A)

в обычном случае вызываемое источником шума мешающее действие при повышении уровня шума на 3 дБ повышается в той же мере, как если бы длительность шума при том же уровне была удвоена. Вследствие этого колеблющийся во времени шум мог бы быть относительно правильно охарактеризован заданием значения уровня $L_{A_{ср}}$. Однако в отдельных случаях необходимо обозначать также пиковые значения уровня, встречающиеся в 1% времени измерений.

Все эти обстоятельства позволяют осознать тот факт, что оценка звука в отношении вызываемого им слухового ощущения особенно сложна. Мешающее действие шума зависит таким образом от времени действия, спектрального состава частот, фактического уровня основного шума и не в последнюю очередь от положения слушателя. Для качественной оценки вредных и мешающих уровней звука могут служить табл. 20 и 21, рис. 91 и 92.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

10, 11, 13, 34, 240, 249, 291, 315, 320, 324, 374, 356—362.

ВНЕШНИЙ ШУМ

ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

При проектировании зданий и сооружений архитекторы учитывают шумовую нагрузку на отдельные объекты, а также на весь строительный комплекс. При этом в качестве справочного нормативного документа служат DIN 18005, часть I [331] и дополнения к DIN 4109 [324].

При проектировании и учете наружного шума принимают во внимание ориентацию, членение и форму здания, наличие окон и балконов, устройство насыпей и заборов, организацию зеленых и защитных зон, подъездов и разъездов, а также планировочные решения отдельных зданий.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Понятия и основные величины. Характеристикой меняющегося во времени шума является его средний уровень $L_{A_{ср}}$. Для определения интенсивности шума измерение звуковых колебаний производят на свободном пространстве на расстоянии 25 м от источника шума. Полученные по формулам (75), (76) и (77) значения уровней могут быть пересчитаны затем для других расстояний.

В соответствии с DIN 18005 для проектирования зданий и сооружений в качестве граничных значений по шести областям строительства или эксплуатации должны быть заданы проектные нормативные уровни. Последние не следует смешивать с нормативными значения-

ми воздействий, приводимых в различных указаниях [361, 380, 381].

2. Источники шума. В качестве источников шума рассматривается шум транспортный, промышленный и бытовой.

2.1. Транспортный шум. Главной причиной этого вида шума является уличное движение. Создаваемый автомобилями уровень шума повышается на 6 дБ при увеличении в два раза плотности движения. При этом интенсивность звуковых колебаний снижается с повышением частоты на 3—5 дБ при каждом удвоении частоты. Зависимость уровня громкости шума, создаваемого машиной, от ее мощности показывает, что уровень вызываемого ею шума повышается, если увеличивается скорость машины и возрастает уклон дороги. Интенсивность звуковых волн повышается также в начале движения, когда двигатель автомобиля работает при повышенном числе оборотов. Средний уровень шума повышается также на скоростных трассах, уличных перекрестках и въездах. При движении транспорта по шероховатым и мощеным улицам средний уровень шума возрастает в зависимости от скорости движения машин v и числа проезжающих ежечасно легковых автомобилей. Ожидаемый средний уровень шума для прямых и гладких улиц может быть вычислен по формуле

$$L_{A\ \text{ср.}25} = 30 \lg v + 10 \lg n - 20, \text{ дБ (A)}. \qquad (81)$$

При этом следует учесть следующие дополнения [331]:

грузовой автомобиль или автобус соответствует четырем легковым автомобилям; мотоцикл—двум легковым автомобилям;

на перекрестках и подъемах с уклоном более 7% расчетный уровень шума повышается по сравнению со значением, вычисленным по формуле (81) примерно на 10 дБ, при шероховатых и мощеных улицах — на 3—5 дБ. При скорости движения транспорта ниже 55 км/ч средний уровень шума не снижается вследствие наличия других источников шума. При количественной оценке звукового давления в основное время движения средний расчетный уровень шума принимается не менее 80 дБ (А), учитывая шумовые нагрузки пиковых часов.

Для определения интенсивности шума в местах стоянок транспорта (театры, спортивные объекты, предприятия и т.д.) можно принять, что в наиболее шумное время количество прибывающих (или убывающих) автомобилей составляет около 75% емкости стоянки [374]. В других местах скопления автомобилей большее значение имеет вид отдельных шумов. При этом в каждом конкретном случае следует учитывать дополнительно останавливающийся транспорт.

При расчете шумовых нагрузок от рельсового транспорта действительны положения, установленные для уличного движения. Ожидаемые средние уровни могут быть взяты по DIN 18005.

Вблизи аэродромов (на расстоянии порядка 1 км от аэропорта) ожидаемый уровень шума не должен превышать 90 дБ (А) [86].

2.2. Промышленный шум. Промышленные установки обладают комплексом источников шума, и уровень звукового давления различных установок сильно колеблется. Поэтому в каждом конкретном случае необходимо проводить измерения, если для нужд проектирования нет нормированных значений.

2.3. Бытовой шум. Основными источниками бытового шума являются школы, детские сады или игровые площадки, при наличии которых на расстоянии 25 м средний уровень шума составляет от 20 до 60 дБ (А) [374].

3. Распространение шума. 3.1. Затухание. Распространение шума происходит по закономерностям свободного звукового поля. Уровень шума снижается обратно пропорционально расстоянию r, причем следует различать точечные, линейные и плоские источники звука.

В соответствии с формулами (75), (76) и (77) ожидаемое снижение уровня относится к распространению шума от одной отражающей поверхности, которое может происходить свободно во все стороны. Однако такой случай встречается редко. При распространении звука как в свободном, так и в закрытом пространстве звуковая волна теряет энергию вследствие поглощения ее поверхностями, на которые она падает. Поэтому при распространении звука над абсорбирующими поверхностями (низкие зеленые насаждения) происходит дополнительное снижение уровня звукового давления. Однако на практике это положение в большинстве случаев не учитывается, так как для ощутимого снижения уровня звука требуются значительные поверхности насаждений.

Дополнительное уменьшение интенсивности шума вследствие пересечения звуковыми волнами высоких зеленых насаждений также не имеет практического значения. Например, снижение уровня звука лесными полосами на каждые 100 м ширины полосы составляет не более 10 дБ (А). Чаще встречается случай, при котором снижение уровня звука происходит благодаря его отражению боковыми стенами.

В общем случае уровень звука повышается вследствие отражения звуковых волн от твердых препятствий, поэтому увеличение уровня зависит от взаимного расположения источника, препятствия и приемника звука. При двухсторонней застройке этот эффект усиливается. При этом возможное повышение уровня звуковой волны может быть вычислено по формуле

$$\Delta_L = 10 \lg\left(1 + \frac{h}{b}\right) + 3, \text{ дБ}, \qquad (82)$$

где b — расстояние между рядами домов; h — высота домов.

3.2. Препятствие распространению звуковых волн (затенение). Большое влияние на распространение звука оказывают препятствия в виде насыпей или стен. Их действие зависит от эффективной высоты экранирования $h_э$ и расположения препятствия по отношению к источнику звука и его приемнику (рис. 93). Вследствие диф-

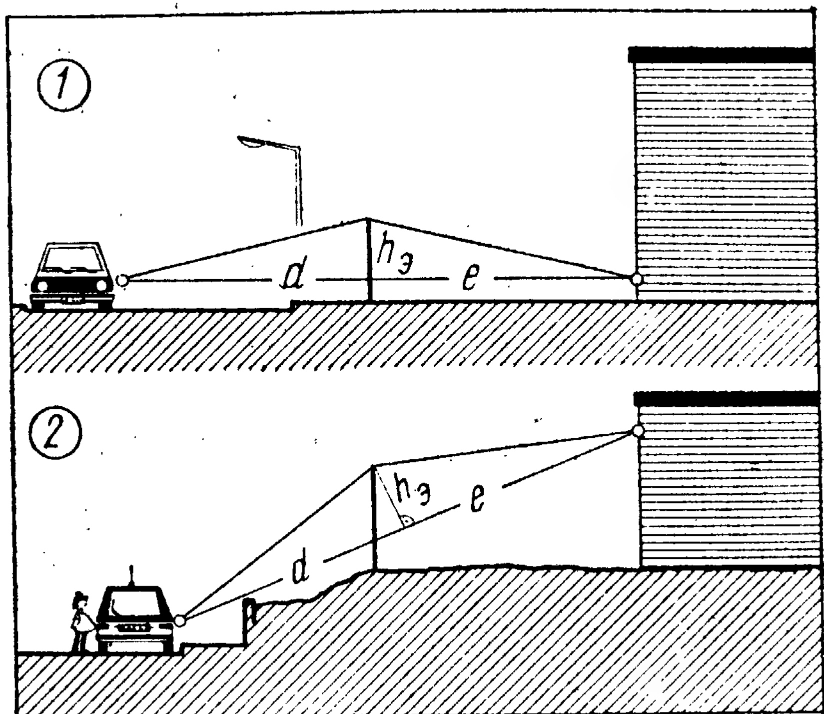


Рис. 93. Показатель экранирования z и высота экранирования $h_э$

1 — источник звука и приемник на одной отметке; 2 — источник звука и приемник на разных отметках

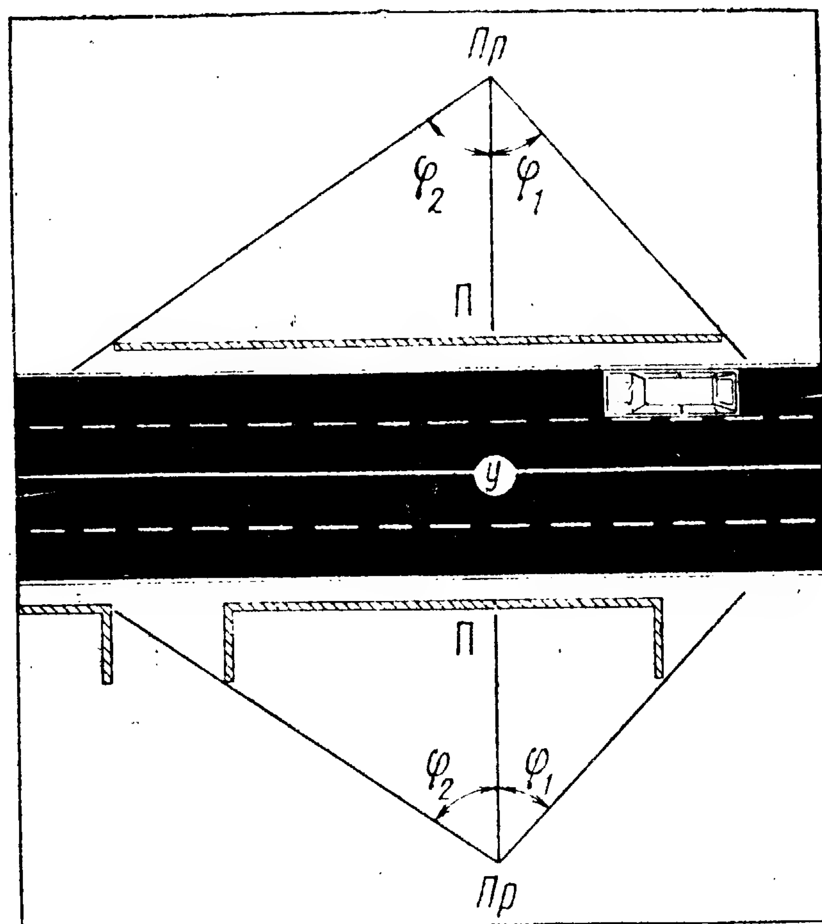


Рис. 94. Показатель экранирования z и ширина экрана b

П — препятствие шириной b; У — источник шума — улица; Пр — приемник

ракции на экранирующем препятствии уровень шума снижается при повышении его частот и увеличении показателя экранирования z (точные значения содержит [331]), который определяется по формуле (м).

$$z \approx h_э^2\left(\frac{1}{d}+\frac{1}{e}\right). \qquad (83)$$

Из рис. 93 и уравнения (83) видно, что затеняющее препятствие тем эффективнее, чем оно ближе к источнику звука и к защищаемому приемнику. Это действительно, когда источник и приемник находятся на одном уровне, так как эффективная высота экрана при его перемещении в этом случае не изменяется.

Если, наоборот, обе точки находятся на разных отметках, то эффективная высота повышается и уровень шума уменьшается тем больше, чем ближе препятствие к точке, расположенной ниже. Значение этого положения ограничивается, однако, тем, что вызываемое препятствием снижение уровня шума зависит также от протяженности препятствия по горизонтали (рис. 94).

С увеличением угла φ снижается уровень шума (точные значения содержатся в [331]). При этом решающим является меньший из двух углов. Для точечных источников звука это означает, что большее действие достигается при устройстве препятствия вблизи одной из точек (источник шума — приемник).

При линейных источниках эффективность экранирования возрастает лишь по мере приближения его к приемнику звука.

Следует добавить, что с приближением к приемнику звука величина звукоизоляционной способности препятствия приобретает все

большее значение, поэтому при рассмотрении экранирующего действия из-за большого переноса звука окружением ей должно быть уделено внимание.

При правильном устройстве и достаточных размерах экранирующего препятствия уровень шума можно снизить до 30 дБ (А).

УКАЗАНИЯ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ

1. **Защитные расстояния**. Эффективность защиты зданий от звуковых волн увеличивается с расстоянием, при этом действенность защиты возрастает при озеленении пространства, расположенного между источником шума и преемником. Удовлетворительные результаты защиты могут быть получены в том случае, когда озелененная зона простирается более чем на 100 м.

2. **Экранирующие устройства**. Эффективность экранирующих стен или насыпей следует проверять предварительным эскизированием. При этом экраны устраиваются близко к источнику шума с тем, чтобы защитить свободное пространство, расположенное между источником шума и приемником. Поэтому необходимые для этого насыпи или стены следует располагать сбоку за границами застраиваемого участка или в дальней его зоне (см. рис. 94). Необходимо по возможности стремиться к понижению отметки улицы.

Отверстия в экранах отрицательно влияют на их защитные свойтва. Точечное или линейное отверстие следует устраивать на уровне территории, которая расположена перед экранирующим препятствием.

Для предотвращения повышения уровня звукового давления вследствие отражения волны от стены препятствия защитное сооружение должно обладать звукопоглошающими свойствами (искусственные звукопоглощающие материалы) или иметь отклонение от вертикали (рис. 95).

Экранирующее действие балконов вследствие небольших размеров последних ограничивается зоной высоких частот, но из-за повышенной чувствительности слухового аппарата человека считается позитивным. Соответствующая форма нижней стороны балконных плит благодаря уменьшению отражения ими звука в помещение также способствует снижению уровня шума.

Кроме стен и насыпей в качестве экранирующих устройств могут использоваться экранирующие здания (гаражи, деловые и торговые зоны).

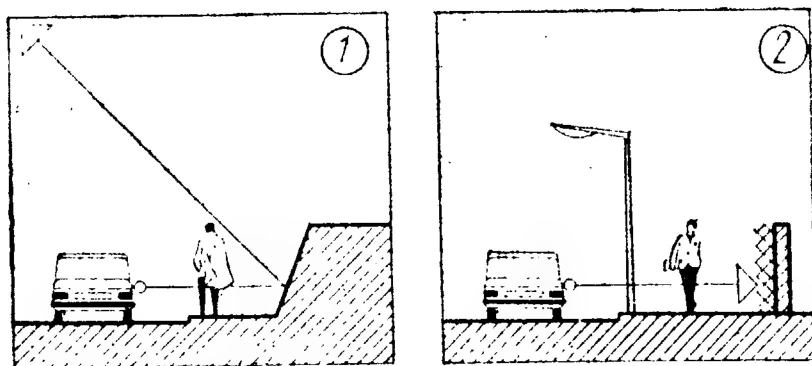


Рис. 95. Устройство экранирующих поверхностей

1 — влияние наклона насыпи на угол отражения; 2 — предотвращение отражения с помощью звукопоглощающего материала

Удовлетворительным мероприятием следует считать также строительство зданий с закрытой формой дворов при застройке строго параллельно улице. Таким образом, внутри дворов образуются зоны, уровень шума которых не превышает 30 дБ (А). Однако такое расположение влияет на архитектурно-планировочное решение здания.

Если же дома строятся перпендикулярно улице без проведения дополнительных мероприятий по экранированию, звук распространяется беспрепятственно. Это приводит к высокому уровню шума вокруг здания.

При организации во дворах детских игровых площадок для уменьшения отражений звука рекомендуется располагать их в середине дворов, где уровень шума снижается до 3 дБ.

ТРЕБОВАНИЯ И ОЦЕНКА

В ФРГ существует ряд положений, определяющих шумовую на грузку от источников шума. Так, предельные значения нагрузок вызываемых промышленными и различными техническими установ ками, регулируются законом ФРГ о защите от вредных воздействий от 21.3.1974 г. или законами о защите земель ФРГ от вредных воздействий. Нормативные значения вредных воздействий приведены также в Листке 2058 Союза немецких инженеров (UDI) «Оценка рабочего шума по составу». Указания по этому вопросу содержат каталог по проблеме «Звукоизолция (Снижение шума)» в составе указаний Союза немецких инженеров и нормы DIN.

Наиболее важным нормативным документом по этому вопросу является DIN 18005 «Звукоизоляция в градостроительстве» в виде проекта в двух частях, существующего с апреля 1976 г. В его первой части для различных областей строительства установлен проектный нормативный уровень, включающий значения предельных шумовых нагрузок. Здесь они всегда выше нормативных значений. При установлении этих показателей исходили из того, чтобы уровень шума в спальных помещениях в ночное время не превышал 35 дБ (А), причем за счет переноса через частично открытые окна создается уровень шума 10—15 дБ (А). Соответственно перед окнами в ночное время уровень шума не должен превышать 45—50 дБ (А). Если здание расположено в зоне более высоких значений уровня шума, то путем проведения конструктивных мероприятий в здании они должны быть снижены до допустимого уровня. Введенное в проект значение нормативного уровня повышено по сравнению со значением уровня действовавшего ранее предварительного выпуска норм DIN 18005.

Необходимо отметить, что существующая шумовая обстановка в городах иногда значительно [до 40 дБ (А)] превышает как действующие в настоящее время нормативные значения, так и введенные в проект DIN 18005 нормативные уровни.

Пример. В проекте DIN 18005, часть I, приводится пример расчета ожидаемого среднего уровня шума, а также снижения уровня экранирующими препятствиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

10, 57, 80, 85, 117, 213, 238, 291, 306, 331, 352—354, 364, 368—374.

АКУСТИКА ПОМЕЩЕНИЙ

ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Проектирование специальных помещений, обладающих высокими акустическими качествами и специальными акустическими свойствами, поручается, как правило, инженеру-специалисту по акустике помещений. Однако архитектор-разработчик также должен уделять большое внимание акустике разрабатываемых зданий и сооружений. При проектировании простых помещений с учетом требований акустики различают:

помещения 1-й группы, обладающие специальными акустическими свойствами, например, лектории и др. При этом, учитывая требования DIN 18041, для помещений 1-й группы должны быть определены проектные данные о форме помещений и их объемах, о поверхностях, ограничивающих помещения, об оборудовании и мебели;

помещения 2-й группы, не имеющие превышения максимально допустимого уровня шума, например конторские, промышленные помещения и др.

Для этого в качестве основных факторов должны быть приняты во внимание пропорции помещений, использование звукопоглощающих материалов, применение экранирующих стен.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Понятия и основные величины. Решающее значение для акустического климата помещения имеют отражающая и поглощающая способность ограничивающих помещение поверхностей. При этом отраженная и поглощенная звуковая энергия соотносятся следующим образом:

$$E_{общ} = E_{отр} + E_{погл}, \text{Дж/м}^3. \quad (84)$$

Поскольку давление звука p характеризует содержащуюся в звуковой волне энергию, то

$$p_{общ} = p_{отр} + p_{погл}, \quad \text{Н/м}^2. \quad (85)$$

Отношение поглощенной и, возможно, прошедшей через ограждение энергии ко всей энергии, падающей на плоскость измерения, т. е. отношение интенсивностей звука J, называется *коэффициентом*

звукопоглощения α. Он является безразмерной величиной, которая используется для характеристики звукопоглощающих свойств материала. Его значения колеблются в соответствии с определением между нулем (полное отражение) и единицей (полное поглощение):

$$\alpha = \frac{J_{погл} + J_{прон}}{J_{пад}}. \qquad (86)$$

В соответствии с этим *коэффициент отражения* ρ представляет отношение интенсивностей падающей и отраженной звуковой волны:

$$\rho = \frac{J_{отр}}{J_{пад}}. \qquad (87)$$

Сумма α и ρ всегда равна 1. Они являются величинами, зависящими от частоты звуковой волны.

Коэффициент поглощения α представляет собой специфическую для материала или конструкции величину, которая при умножении на площадь материала дает так называемую эквивалентную поверхность звукопоглощения A (м^2). Ее значение также является величиной, зависящей от частоты (рис. 96).

Суммарная площадь окружающих помещение поверхностей образует общую эквивалентную звукопоглощающую поверхность A_0 (м ^{2}). Величина этой поверхности характеризует звукопоглощающую способность помещения.

В некоторых случаях для описания звукопоглощающих свойств помещения может быть использован средний коэффициент звукопоглощения $\bar{\alpha}$. Он вычисляется по формуле (88), причем $S_{общ}$ является площадью всех окружающих помещение поверхностей:

$$\bar{\alpha} = \frac{A_0}{S_{общ}}. \qquad (88)$$

Эквивалентная общая поверхность поглощения A_0 вместе с объемом помещения V определяет время реверберации T (с), которое может быть вычислено по формуле

$$T = 0{,}163 \frac{V}{A_0} \qquad (89)$$

как время, в течение которого диффузный уровень шума $L_{диф}$, равный 60 дБ, т. е. звуковое давление, снизится до 1/1000 своего начального значения.

При известном объеме помещения и измеренной поглощающей поверхности могут быть определены время реверберации и эквивалентная поглощающая поверхность помещения.

Через время реверберации определяется также коэффициент звукопоглощения материалов, при этом измеряется время реверберации помещения с известной экивалентной поглощающей поверхностью и внесенной пробой и по рис. 97 определяется новая эквивалентная поглощающая поверхность. При таком измерении благодаря проявлениям диффузии коэффициент звукопоглощения может оказаться больше.

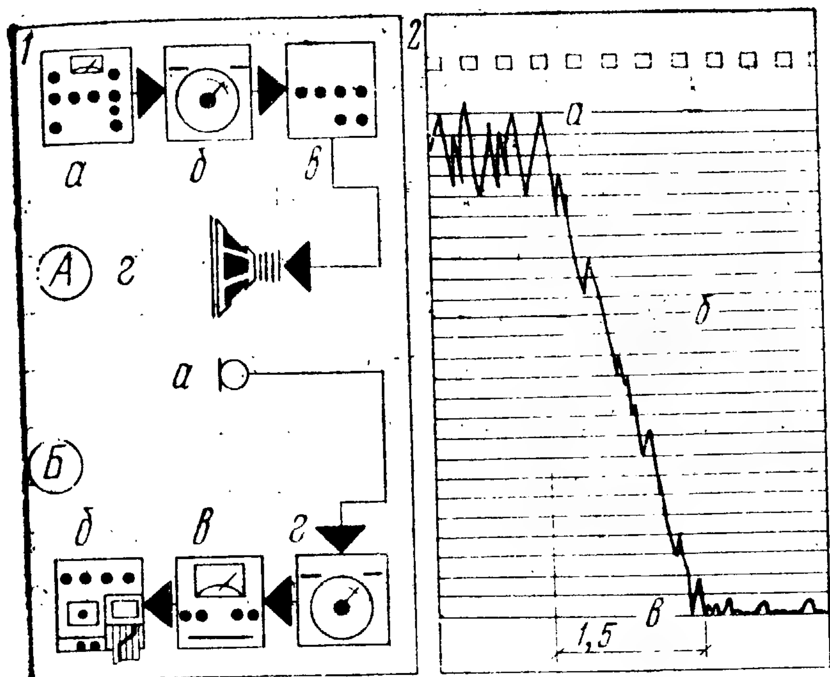


Рис. 96. Измерение времени реверберации Блок — схема (*1*) и запись уровней измерения времени реверберации (*2*)

1) **А — передающая радиоаппаратура:** *а* — генератор шума; *б* — терциальный (октавный) фильтр; *в* — усилитель мощности; *г* — громкоговорящее устройство; **Б — радиоприемная аппаратура:** *а* — микрофон; *б* — терциальный (октавный) фильтр; *в* — измерительный усилитель; *г* — самописец уровней; *2*) *а* — измеряемый (терциальный) шум; *б* — ход реверберации; *в* — звуковые помехи

Примечание. Поскольку регистрирующая бумага рассчитана лишь на 10-децибельный интервал, для 60 дБ должен быть выполнен пересчет

$T = 1{,}5 \times \frac{6}{5} = 1{,}8$ с

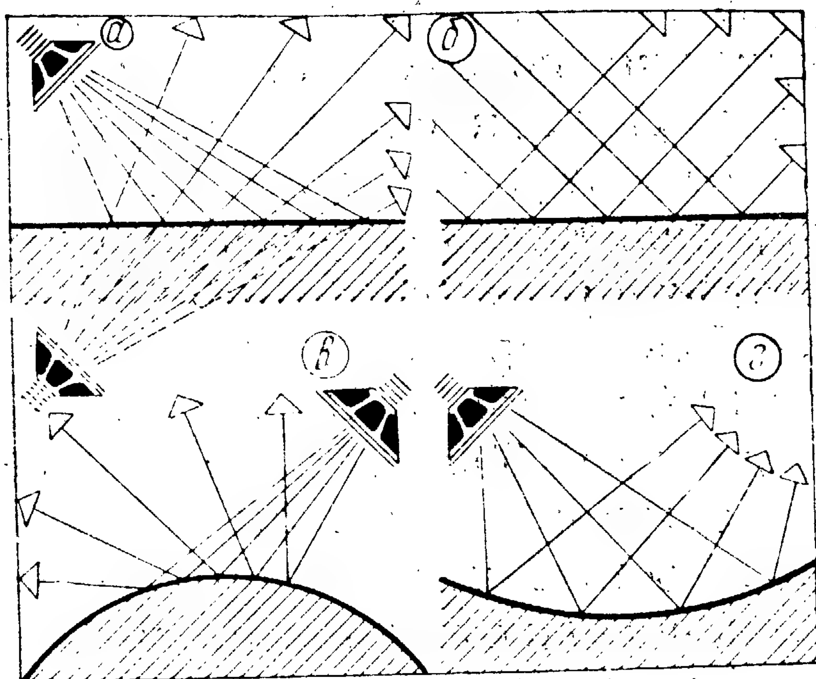


Рис. 97. Геометрическое отражение

а — при одном близко расположенном точечном источнике звука расхождение звуковых лучей после отражения их плоской поверхностью происходит в одной плоскости, положение мнимого источника звука зеркально по отношению к истинному; *б* — при одном находящемся на значительном удалении источнике звука звуковые лучи после отражения их плоской поверхностью остаются параллельными в одной плоскости; *в* — при выпуклой поверхности отражения расхождение звуковых лучей увеличивается, звук рассеивается; *г* — при вогнутой поверхности расхождение звуковых лучей после отражения уменьшается, звук концентрируется

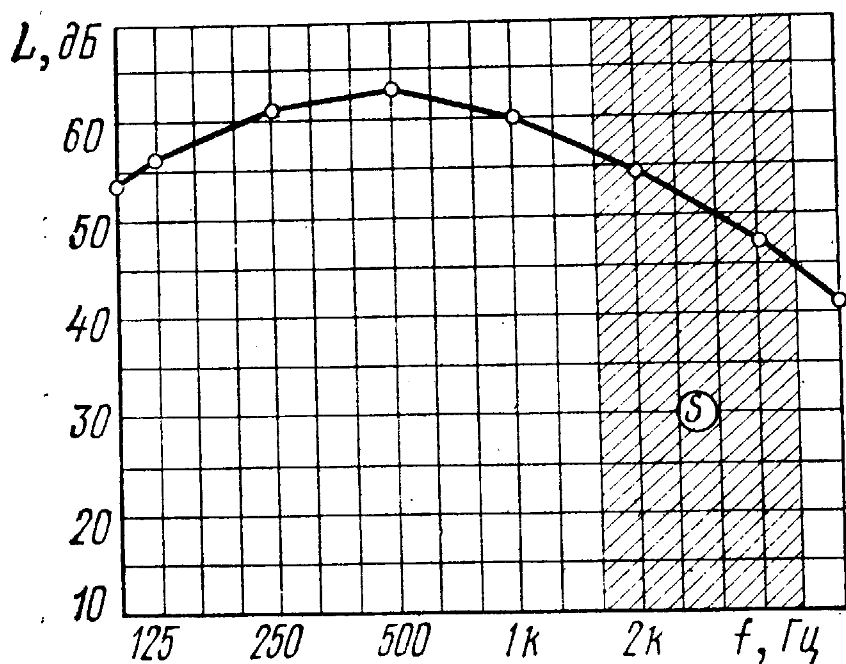


Рис. 98. Типичный октавно-полосный спектр речи при удалении на 1 м (*s* — наиболее важная для разборчивости речи область)

Звуковые волны от источника возбуждения распространяются шарообразно. При этом уменьшение звуковой энергии происходит обратно пропорционально расстоянию *r* от источника звука. В помещениях звуковые волны встречаются с различными препятствиями (предметы обстановки, люди и т. д.) и претерпевают изменения. Если препятствие воздействует на распространение звуковой волны, то порядок величины его поверхности соответствует порядку величины падающей звуковой волны. При этом для рассмотрения распространения звука могут применяться закономерности геометрической акустики, которые исходят не из волновой природы звука, а из прямолинейного распространения звуковых лучей. Важнейшим аспектом при проектировании сооружений с учетом геометрической акустики является тот факт, что звуковые лучи, падающие на ровную поверхность, отражаются по закону «угол падения равен

углу отражения». Благодаря этому оказывается возможным за счет придания поверхности соответствующей формы собрать звуковые лучи, рассеять или концентрированно отразить их.

Для акустики помещений характерна область частот, которая определяется спектром частот музыкальных инструментов или человеческой речи (рис. 98). Он включает и спектр шумов источника звука. Так, например, для человеческой речи характерна область между 1000 и 4000 Гц. В музыкальных звучаниях, где область частот доходит до 15 000 Гц, важны также оттенки звучания отдельных инструментов и голосов. Для обычных проектных задач принимается как достаточная область частот от 100 до 6300 Гц [357, 359] с длиной волн от 5 см до 3,5 м.

Для оценки акустических условий в лекториях, наряду с необходимым уровнем звука, важны также правильное распределение уровней, хорошая разборчивость речи или слышимость.

Прямой звук в помещении имеет определяющее слухо-психологическое значение. Он является критерием вызываемого в слуховом аппарате человека представления о направленности звуковой волны или расположении источника звука. Оптическая связь с последним является решающим моментом в определении ясности и разборчивости исполнения (выступления) и влияет тем самым на индивидуальное восприятие громкости.

Второй составляющей диффузного звукового поля является отражение звуковых волн. Отраженные волны необходимы для поддержания постепенно понижающегося уровня прямого звука. Поскольку снижение уровня зависит от удаления источника звука, возрастание доли реверберации при увеличении объема помещения легко объясняется. При этом отраженные звуковые волны отличаются от прямого звука в трех отношениях. Вследствие более длительного пути они попадают к слушателю позднее. Эту разницу времени называют разностью времени распространения. Слушатель, воспринимающий также отражение звука из других источников, слышит отраженный звук хуже вследствие более длительного пути, частых отражений и энергетических потерь прямого звука.

При разности во времени распространения более 0,05 с человеческое ухо в состоянии отделить звуковые ощущения и различить их как отдельные шумы. Однако нежелательно усиление прямого звука отраженной волной. Поэтому в помещениях разность во времени распространения между прямым звуком и его первой отраженной волной должна быть меньше 0,05 с для предотвращения образования эха. Отсюда следует, что разность путей должна быть не больше 17 м (рис. 99).

Исходя из сказанного время реверберации T не может увеличиваться неограниченно, так как вследствие вызываемого разностью во времени распространения эха и возможной неправильной ориентации разборчивость звуковых сигналов ухудшается. Поэтому для помещений в зависимости от источника звука должен быть установлен максимальный объем (табл. 22), а в зависимости от этого объема

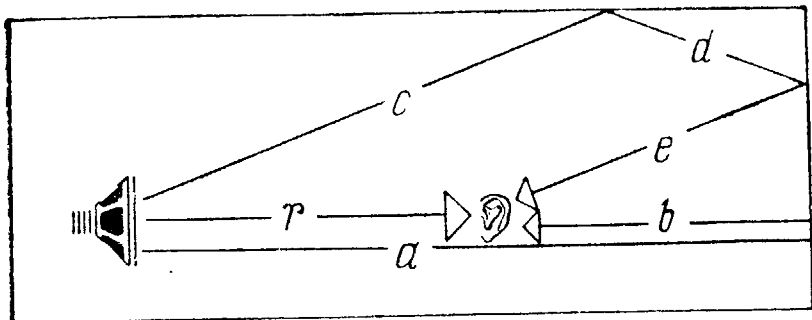


Рис. 99. Эхо не образуется, если разности расстояний $(a+b)-r$ или $(c+d+e)-r$ меньше 17 м

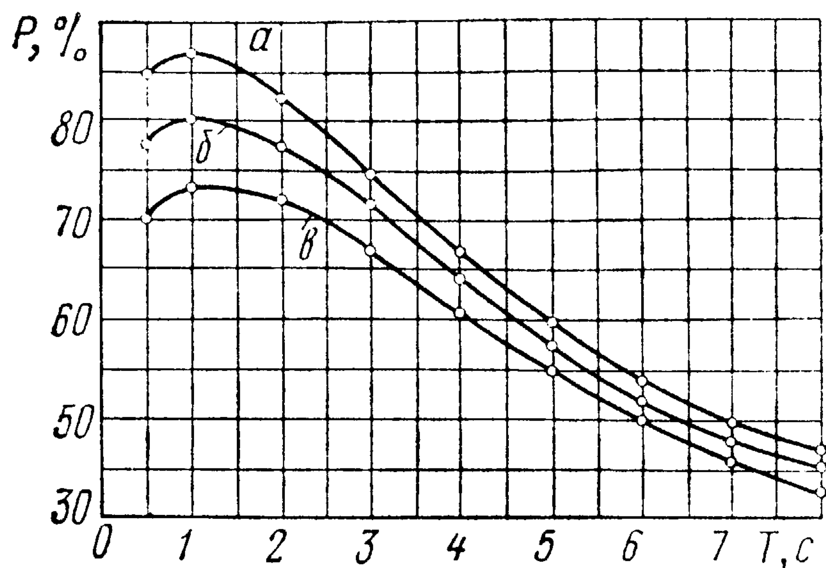


Рис. 100. Влияние времени реверберации T на разборчивость речи P в зависимости от объема помещения V, м³ (по *Knudsen*)
а — 707; *б* — 11300; *в* — 45200

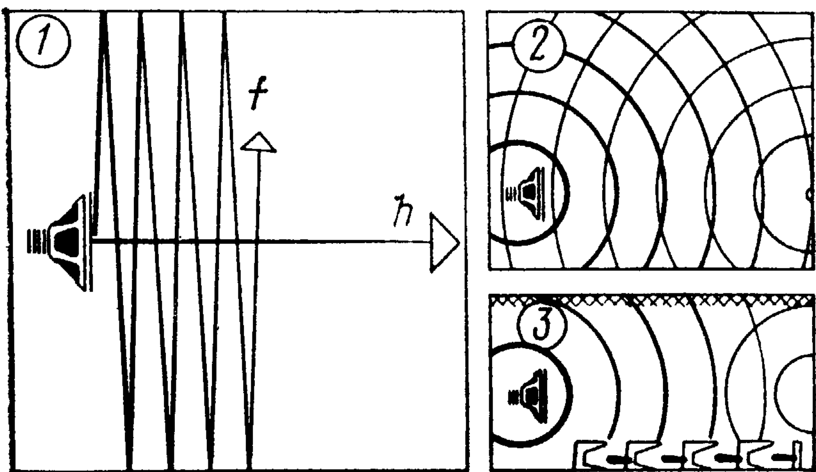


Рис. 101. Вибрирующее эхо

1 — возникновение вибрирующего эха (преимущественно в передней зоне помещения); *2* — в высоких помещениях и над отражающими полами (перекрытиями) вибрирующее эхо распространяется беспрепятственно; *3* — если полы и перекрытия выполнены как звукопоглощающие, звуковые волны теряют энергию, распространению звука создается препятствие; *f* — звуковые лучи вибрирующего эха; *h* — главное направление распространения звука

и времени реверберации — максимальная разборчивость речи (рис. 100).

В диффузном звуковом поле между параллельными конструкциями может возникнуть вибрирующее эхо, вызываемое многократным отражением звуковых волн. Это явление является отрицательным, когда доля энергии звуковых колебаний, измеренная в диффузной энергетической части, достаточно высока. Она тем выше, чем ближе источник звука и чем больше энергия отражаемых от стен и перекрытий волн. С другой стороны, распространение звуковых волн, вызывающее вибрирующее эхо, прекращается при прохождении поглощающих поверхностей. Поэтому вибрирующее эхо, которое является нежелательным эффектом (рис. 101), возникает, как правило, в высоких помещениях с сильно отражающими параллельными поверхностями.

При отражении прямого звука от вогнутых ограждений происходит концентрация звуковой энергии в отдельных зонах помещения. Вследствие этого распределение уровня звука становится неравномерным, диффузность теряется.

2. Устройства, регулирующие акустику помещений. 2.1. *Отражатели.* Отражатели усиливают прямой звук

ТАБЛИЦА 22. МАКСИМАЛЬНЫЕ ОБЪЕМЫ ПОМЕЩЕНИЙ ДЛЯ ВЫСТУПЛЕНИЙ (БЕЗ УСИЛИТЕЛЕЙ)

Источник звука	Объемы, м³
Малоопытный оратор	3 000
Опытный оратор	6 000
Певец или музыкант (соло)	10 000
Большой симфонический оркестр	20 000
Сводный хор	50 000

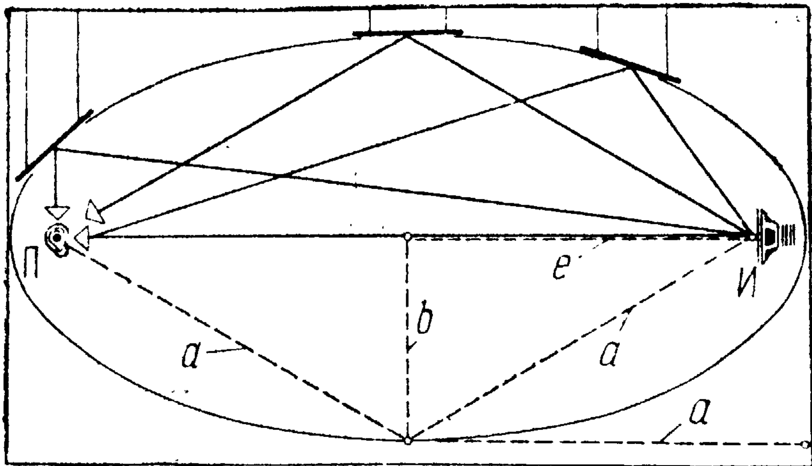


Рис. 102. Эллипс отражения

Основными геометрическими параметрами эллипса являются *a*, *b* и *e* ($a^2=b^2+e^2$). Если источник звука И и приемник П расположены в фокусах эллипса, все звуковые лучи имеют длину *l*, равную 2*a*. Разность длин путей звука во всех случаях составляет $\Delta l=2a-2e$

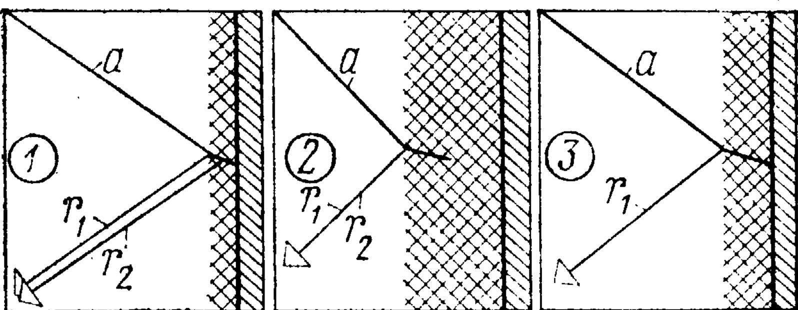


Рис. 103. Эффективная толщина пористых поглотителей

a — воздействующий на ограждение звук; r_1 — отраженный абсорбирующей поверхностью звуковой луч; r_2 — отраженный от задней стены ограждения звуковой луч; *1* — из-за малой толщины слоя звук отражается задней стеной; *2* — из-за большой толщины часть слоя не работает; *3* — эффективная толщина слоя

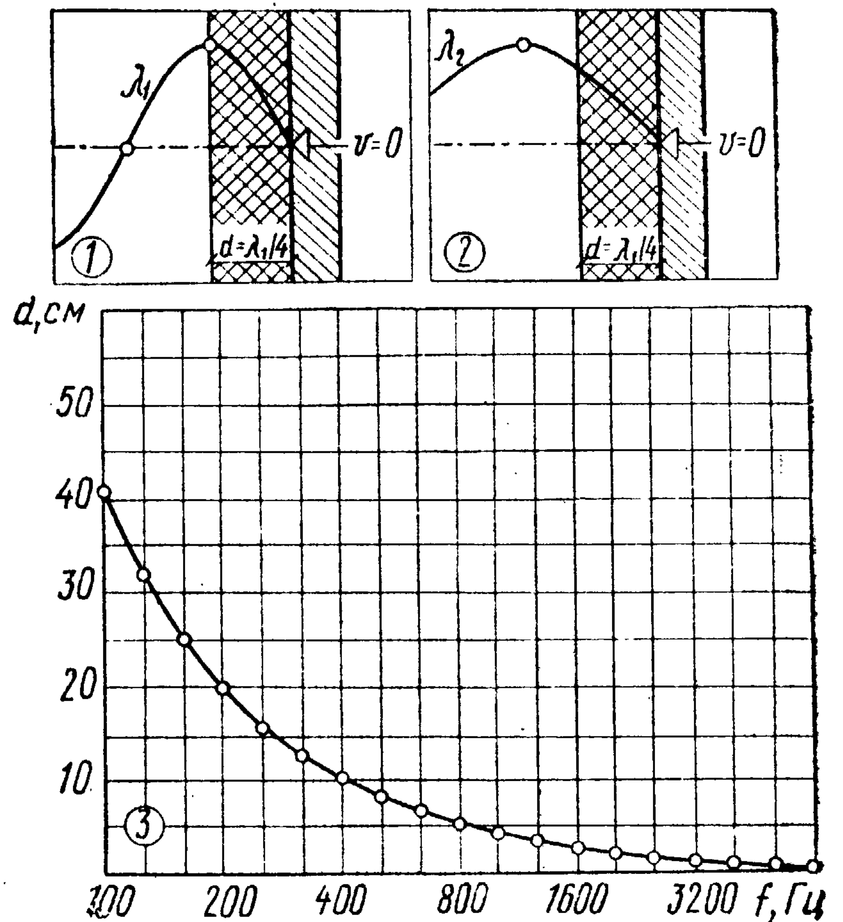


Рис. 104. Влияние толщины слоя пористого поглотителя [10]

1 — толщина слоя $d=\lambda_1/4$: максимум скорости звуковых волн длиной λ_1 расположен в слое пористого материала; *2* — толщина слоя $d=\lambda_1/4$: максимум скорости звуковых волн длиной λ_2 расположен вне слоя пористого материала, эффективность слоя уменьшается; *3* — требуемая толщина слоя изоляции *d* для $\alpha=0{,}8$ в зависимости от частоты *f*

в больших помещениях, создавая хорошую слышимость. В качестве отражателей могут быть использованы поверхности, обладающие высоким коэффициентом отражения ρ и имеющие достаточную величину по отношению к длине волны отражаемого звука.

Для геометрического определения мест расположения отражателей в помещении используется показанный на рис. 102 способ контроля длины путей.

2.2. Диффузоры. Отражателями особого вида являются диффузоры. Они предназначены для создания равномерного, диффузного звукового поля путем ненаправленного, рассеянного отражения и эффективны лишь в зонах частот, длины волн которых меньше, чем размеры диффузоров.

2.3. Поглотители. Звук поглощается, когда часть падающей на поверхность звуковой энергии не отражается, а проникает в конструкцию и переходит в тепловую энергию. При этом различают два вида поглотителей — пористые и механические, называемые также резонаторами. При использовании пористых поглотителей коэффициент поглощения α зависит от аэродинамического сопротивления материала. Наличие большого числа мелких пор создает высокое аэродинамическое сопротивление, но лишь в определенном интервале размера пор.

Аэродинамическое сопротивление материала наряду с видом и расположением пор зависит также от его толщины. С повышением толщины слоя увеличивается поверхность трения и тем самым аэродинамическое сопротивление. При этом коэффициент поглощения имеет предельные значения, которые достигаются, когда по мере увеличения толщины слоя аэродинамическое сопротивление становится таким большим, что звуковые волны не могут проникнуть в глубину материала. Зоны слоя, расположенные глубже, становятся, таким образом, неэффективными для звукопоглощения. Поэтому в зависимости от специфического аэродинамического сопротивления и фактического уровня шума может быть определена максимальная эффективная толщина поглощающего материала (рис. 103).

До настоящего времени различие в длинах волн не учитывалось, хотя оно играет существенную роль. Пористые поглотители эффективны тогда, когда колебательное движение молекул воздуха становится наиболее интенсивным или, иными словами, скорость звука достигает максимума. Таким образом, пористый поглотитель обеспечивает оптимальную эффективность в том случае, когда волна со своим максимумом скорости находится в слое. Поэтому толщина материала должна быть равна не менее четверти длины волны. Это обстоятельство — причина плохого поглощающего действия пористых материалов в зоне низких частот.

В основе приведенных рассуждений лежат следующие соображения. При падении звуковой волны на звуконепроницаемую, отражающую стену ее скорость v становится равной 0. Вследствие этого на расстоянии от стены, равном $\lambda/4$, скорость звука максимальна. Если звукопоглощающий материал установлен на расстоянии, соответствующем одной четверти длины волны, то в этом случае им охватывается зона максимальной скорости, что увеличивает эффективность пористого поглотителя для соответствующей зоны (рис. 104, 105). При определении времени реверберации отмечалось, что вследствие дифракции может произойти повышение коэффициента звукопоглощения. Явление огибания возникает тогда, когда поглощающие поверхности покрываются отражающими. В этом случае звуковые волны, огибая края поверхности и проникая в звукопоглощающий материал, вносят в него дополнительную энергию. Это явление также зависит от частоты. Чтобы повысить поглощающее действие материала в определенной полосе частот, края поглощающей поверхности должны быть расположены от ближайшего края отражающей не меньше, чем на расстоянии 0,75 λ.

В строительной акустике часто встречается способная к колебаниям резонансная система. Последняя образуется при сочетании компонентов масса—пружина—масса, комбинация которых в зависимости от величины массы и жесткости пружины вызывает явления резонанса. Резонансная или собственная частоты f_0 снижаются при увеличении массы поверхности и снижении жесткости пружины, причем «масса» и «пружина» интерпретируются произвольно. В состоянии резонанса необходим лишь незначительный импульс

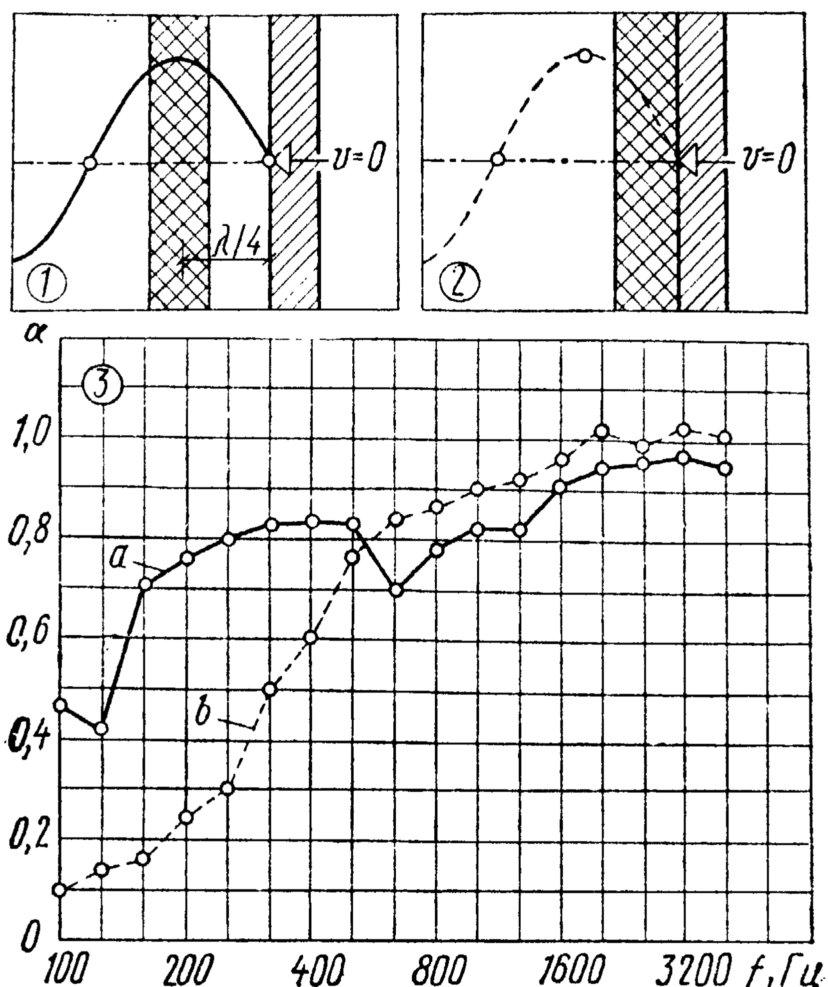


Рис. 105. Влияние расстояния между пористым поглотителем и стеной

1 — звукопоглощающий слой расположен на расстоянии от стены, равном λ/4, максимум скорости звуковых волн находится в толще слоя; *2* — звукопоглощающий слой нанесен непосредственно на стену, максимум скорости находится вне слоя, его эффективность уменьшается; *3* — коэффициент звукопоглощения α плиты из минерального волокна толщиной 40 мм; *a* — расстояние между звукопоглощающим слоем и стеной 27 см; *b* — слой прикреплен непосредственно к стене

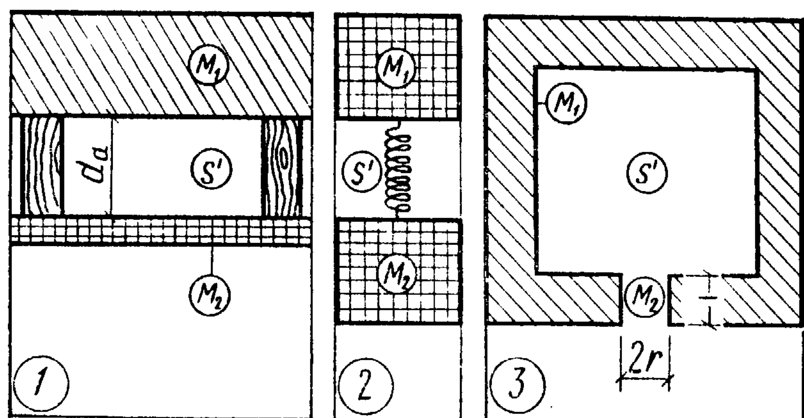


Рис. 106. Типы резонансных звукопоглотителей

1 — плитный резонансный звукопоглотитель: масса M (например, стена или плита перекрытия), пружина s' (например, воздушный промежуток); масса M_2 (например, плита из гипсокартона);

$$f_0 = 600\sqrt{1/(m' \cdot d_a)}$$

2 — система масса — пружина — масса; *3* — резонатор Гельмгольца: масса M_1 (ящик из ДСП и т. п.), пружина S' (объем воздуха), масса M_2 (объем горловины резонатора $l\pi r^2$)

$$f_0 = 9600\sqrt{1/[(l+1,6+2)\cdot V]}$$

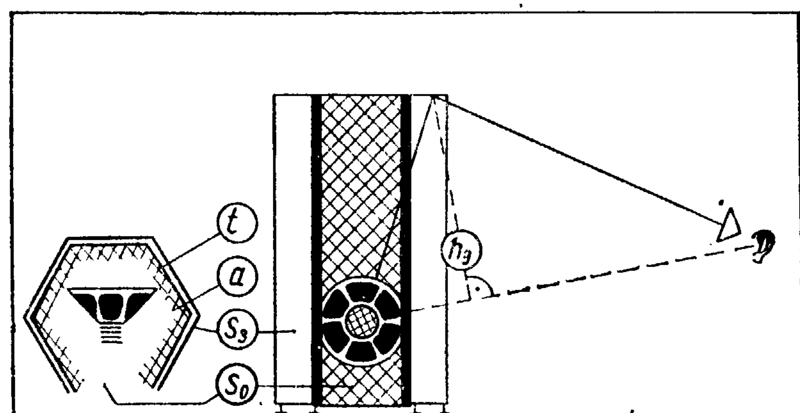


Рис. 107. Индивидуальная капсула

$S_з$ — закрывающая поверхность; t — как можно более тяжелый несущий материал; a — абсорбирующая облицовка (с защитной пленкой); S_0 — открытая поверхность; $h_э$ — эффективная высота стенки капсулы

энергии, чтобы сохранить колебание системы. С другой стороны, перенос звука через такую систему при резонансе значительно усиливается, и потери звуковой энергии, т. е. поглощение ее из помещения, становятся высокими. Это поглощение характеризуется частотной зависимостью.

Различают два типа резонаторов (или резонансных поглотителей) — плитный и Гельмгольца.

Плитный резонатор представляет собой систему, масса которой образуется относительно тонкими, но плотными плитами (например, из фанеры, гипсокартона) и пружиной, в качестве которой выступает воздушный зазор между массивной конструкцией и установленной перед ней на расстоянии d_a (см) плитой.

Плитные резонаторы используются при звуковых колебаниях в полосе частот от низких до средних, при этом по сравнению с пористыми поглотителями они перекрывают лишь узкую полосу частот.

Особой формой плитных резонаторов служат перфорированные, которые так же эффективны, как и плитные резонаторы. Наряду с расстоянием d_a решающее значение имеет «эффективная масса отверстий», величина которой определяется числом и размерами отверстий.

Принципиальное устройство резонаторов Гельмгольца показано на рис. 106. Как и в перфорированных плитных резонаторах, масса резонаторов Гельмгольца образуется горловиной резонатора, пружина — находящимся в камере объемом воздуха. При этом полоса резонансных частот может быть увеличена путем установки пористых материалов в горловине резонатора. Применение резонаторов Гельмгольца, большая эффективность которых вследствие низких резонансных частот лежит именно в этой полосе частот, позволяет создать помещения с необходимыми акустическими свойствами.

2.4. Экранирующие стены и индивидуальные капсулы. Значение экранирующих стен для предотвращения проникания внешних шумов, характер их действия и связанные с этим основные положения рассматривались в разделе «Внешний шум».

С помощью приближенной формулы можно определить снижение уровня звука, которое достигается благодаря индивидуальным капсулам (частично открытым поверхностям S_0, дБ):

$$\Delta L = 10 \lg \frac{S_0 + S_з}{S_0}, \qquad (90)$$

При этом предполагается, что внутренние стороны закрытых поверхностей $S_з$ являются сильно поглощающими, а эффективная высота экранирования максимальна (рис. 107).

УКАЗАНИЯ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ

На основании приведенных основных геометрических и физических зависимостей ниже приведены рекомендации, которые необходимо учитывать при акустическом проектировании помещений.

Как было указано, различают помещения первой группы, которые должны обладать специальной акустикой (лектории и т. п.), и помещения второй группы, в которых не должен превышаться максимально допустимый уровень шума (конторские помещения, машинные залы).

В соответствии с этим составлены и рекомендации, служащие дополнением к DIN 18041, которые содержат простые способы определения размеров [333] для различных помещений и акустических условий в них.

1. Помещения первой группы. В перечень основных акустических условий помещения входят его объем, конфигурация, форма ограничивающих его поверхностей, а также присущее ему время реверберации.

1.1 Объем помещения. Максимальный объем помещения зависит от источника звука и определяемого им уровня мощности. В табл. 22 приведены предельные значения для оценки максимального объема помещения при звучании без усиления звука электроакустическими установками (ЭАУ). Если используются ЭАУ, то объем помещения может быть неограниченным.

1.2. Форма помещения. Второй фактор (форма помещения) воздействует на диффузную и прямую составляющие звукового поля. Упрощенно соотношение сторон прямоугольного помещения может быть определено по графику на рис. 115. При этом необходимо отметить, что пределы оптимального соотношения сторон имеют второстепенное значение и могут поэтому сильно колебаться.

Существенным является требование к достаточному озвучиванию слушателей при равномерном уровне прямого и диффузного звука во всех зонах помещения. Это возможно при наименьшем удалении источника звука от слушателя, определенных формах помещения при равном числе слушателей. На рис. 108 представлены четыре принципиально различных плана помещения. Прямоугольное помещение вытянутой формы не является оптимальным решением. Однако даже при благоприятных вариантах требуемый уровень обеспечивается лишь для определенной зоны. Поскольку уровень диффузного звука во всех зонах помещения является равномерным, а уровень прямого звука с расстоянием снижается, теоретическое требование об одинаковых условиях для обоих уровней в больших помещениях не может быть обеспечено. Его следует заменить на более высокий уровень прямого звука для каждого слушателя. При этом следует иметь в виду, что расстояние до зрителей может быть уменьшено как путем выбора благоприятной формы плана, так и путем повышения уровня пола помещения. Исследования [379] показали, что повышение высоты рядов h на 8 см может быть достаточным и к нему следует стремиться (рис. 109).

Еще один способ изменения расстояния между слушателями и источником звука в очень больших помещениях — использование балконов и галерей. Эти мероприятия желательно совместить с повышением высоты расположения источника звука, так как благодаря этому сразу достигается улучшение озвучивания прямым звуком.

1.3. Поверхности, ограничивающие помещение. Форма и характер поверхностей, ограничивающих помещение, имеют для акустики большое значение. Наличие отражающих и поглощающих поверхностей, а также форма помещения в значительной мере способствуют регулированию уровня звука. Если площадь отражающих поверхностей недостаточна для повышения уровня звука или из-за своей геометрии не пригодна для того, чтобы обеспечить необходимые отражения в определенные зоны помещения, следует устраивать дополнительные отражатели. Из-за слишком большой разности времени прохождения звука может возникнуть эхо, поэтому путь отраженного звука не должен превышать путь прямого звука

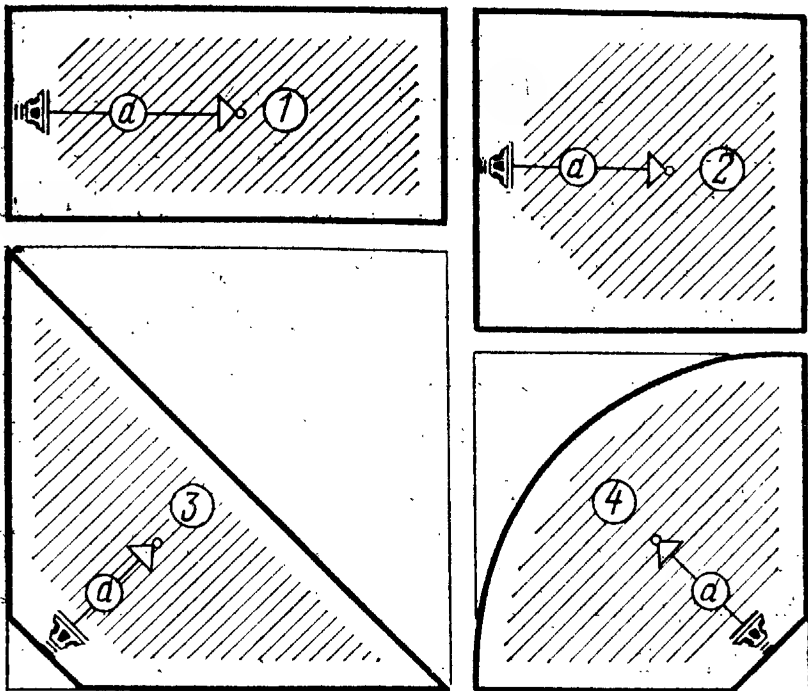


Рис. 108. Форма помещений в плане. Все планы обладают равной полезной площадью поверхности $S_п$ при различных общих площадях поверхности $S_{об}$ и средних расстояниях до слушателей d

	1	2	3	4
$S_п/S_{обп}$	0,63	0,55	0,62	0,66
d/d_1	1	0,83	0,61	0,64

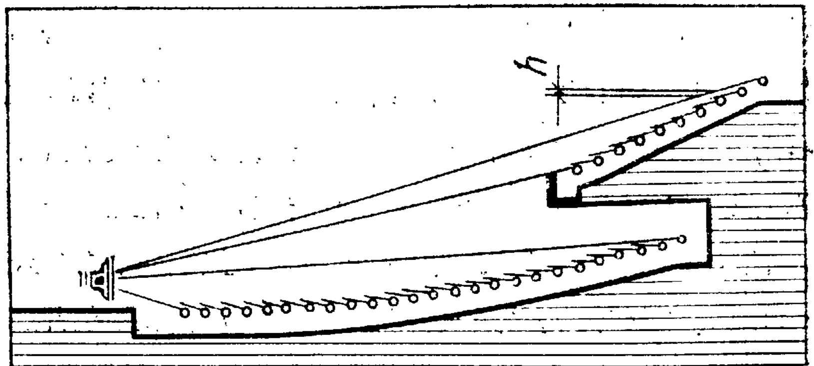


Рис. 109. Устройство сидячих мест для прямого озвучивания. Рекомендуется превышение высоты сидений между соседними рядами h примерно на 8 см

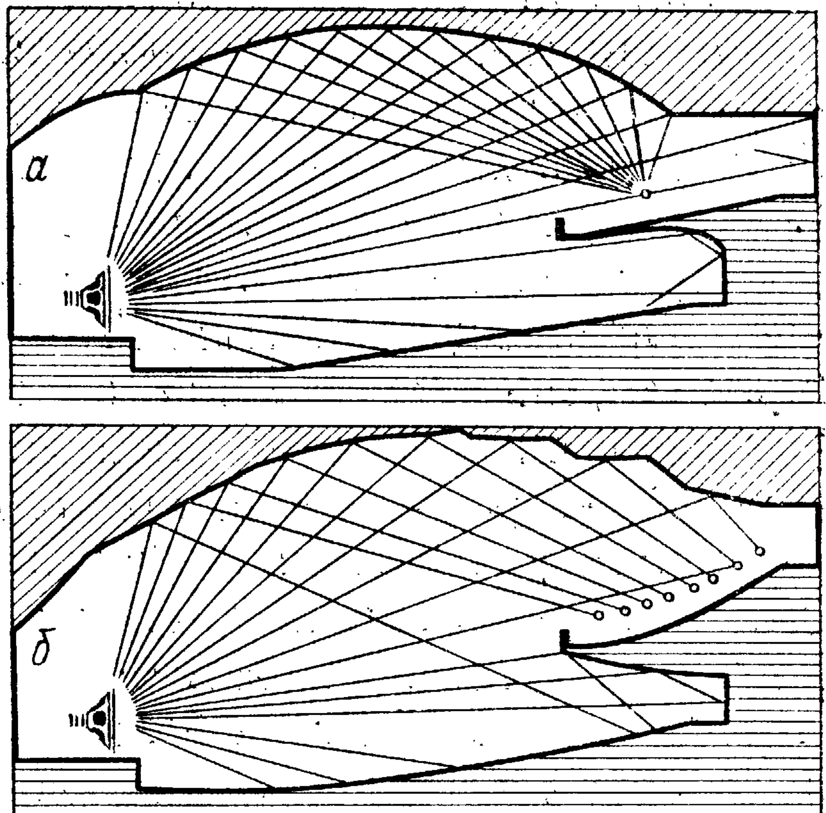


Рис. 110. Концентрация звука вогнутой поверхностью перекрытия. Предотвращение концентрации звука выпуклыми (*а*) или рассеивающими в плане отражающими (*б*) поверхностями перекрытий

больше, чем на 17 м. Если отражатели имеют форму эллипса, то разность $\Delta l = 2a - 2e$ не может превышать 17 м.

На рис. 102 показаны возможные варианты установки отражателей, которые рекомендуется располагать как можно ближе к источнику звука. При соответствующем выборе отражающего материала и его размеров следует воздействовать на полосу частот усиленного звука. Однако для поддержания прямого звука отражателями расстояние между источником звука и последним рядом слушателей не должно быть более 7—10 м. Для равномерного распределения уровня звука в помещении необходимо предотвращать его концентрацию, вызываемую отражателями. Опасность этого явления особенно велика при наличии вогнутой поверхности ограждения. Поэтому необходимо предусматривать выпуклую форму поверхности ограждений (рис. 110).

Появление эха можно устранить отделкой отражающих поверхностей сильно поглощающими материалами, и особое внимание нужно уделять отделке ограждений, испытывающих максимальное звуковое давление (задняя стена помещения).

Для предотвращения вибрирующего эха применяется также специальная отделка поверхностей стен и перекрытий. Например, при параллельно расположенных конструкциях звук отражается диф-

фузно. Такое отражение, способствующее также предотвращению концентрации звуковой энергии, достигается путем установки диффузоров. В качестве последних служат цилиндрические, треугольные, пилообразные и зубчатые поверхности или кессоны (рис. 111). Эффективно также пластическое членение стен окнами и простенками, причем откосы окон должны быть глубиной не менее 50 см, а оставляемые между ними простенки — от 50 см до 2 м. Подобных результатов можно достичь устройством по всей поверхности чередующихся поглощающих и отражающих поверхностей.

Следует также отметить, что устройство диффузоров в больших помещениях простой геометрической формы (квадратной или кубической) нужнее, чем в помещениях более сложной конфигурации.

Достижение оптимального времени реверберации обеспечивается применением соответствующих звукопоглощающих материалов. Требуемую для расчета времени реверберации эквивалентную поглощающую поверхность определяют по формуле (89).

Применение различных типов поглотителей зависит от степени их поглощающего действия. Так, пористые поглотители обладают, как правило, широкополосной, а в зоне низких частот — плохой поглощающей способностью. Эти отрицательные факторы могут быть улучшены различными конструктивными мероприятиями. Кроме того, при разделении поглощающей поверхности на множество отдельных участков, покрытых отражающими материалами, коэффициент поглощения может быть повышен для желаемой полосы частот. Однако вследствие больших расстояний между поверхностями, в основном в полосе низких частот, для которых этот способ был бы особенно эффективен, эта возможность практически не используется.

Все сказанное касалось необлицованных поверхностей. Использование же облицовки, которая выполняется по эстетическим или функциональным соображениям, изменяет их поглощающие свойства. При этом аэродинамическое сопротивление облицовок должно быть меньше, чем у поглощающих материалов. В большинстве случаев облицовки из текстиля имеют большее сопротивление и снижают, таким образом, коэффициент звукопоглощения. Поэтому рекомендуется применять перфорированные плиты из различных материалов с максимальным числом отверстий, желательно небольшой толщины. Вызываемое облицовкой снижение коэффициента звукопоглощения характерно в основном для области высоких частот.

Резонаторы, вследствие действия в узкой полосе частот, применяются, как правило, в качестве дополнительного мероприятия к пористым поглотителям (рис. 112). Коэффициент звукопоглощения плитных резонаторов составляет 0,3—0,5. Благодаря применению в воздушной прослойке пористых материалов их коэффициент звукопоглощения повышается до 0,8. При этом пористые материалы укрепляются на массивных стенах и перекрытиях и не препятствуют колебаниям плиты за счет контакта с ней. Поэтому для колеблющейся плиты должен быть установлен определенный минимальный раз-

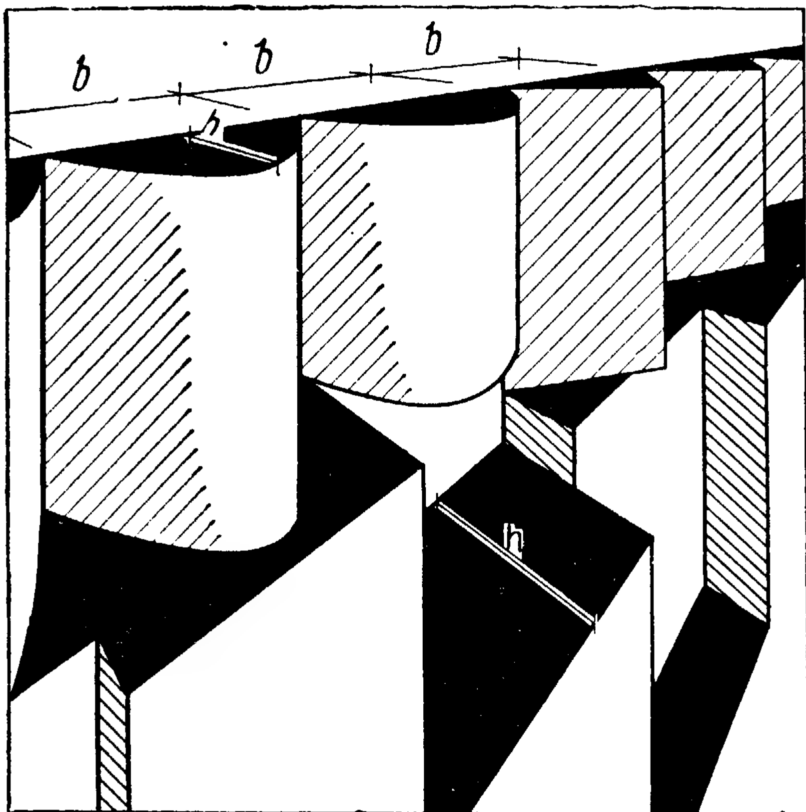


Рис. 111. Диффузоры из цилиндрических поверхностей, треугольных или пилообразных призм и квадратных кессонов

b — от 0,8 до 2 м; *h* — от 0,4 до 0,5 м

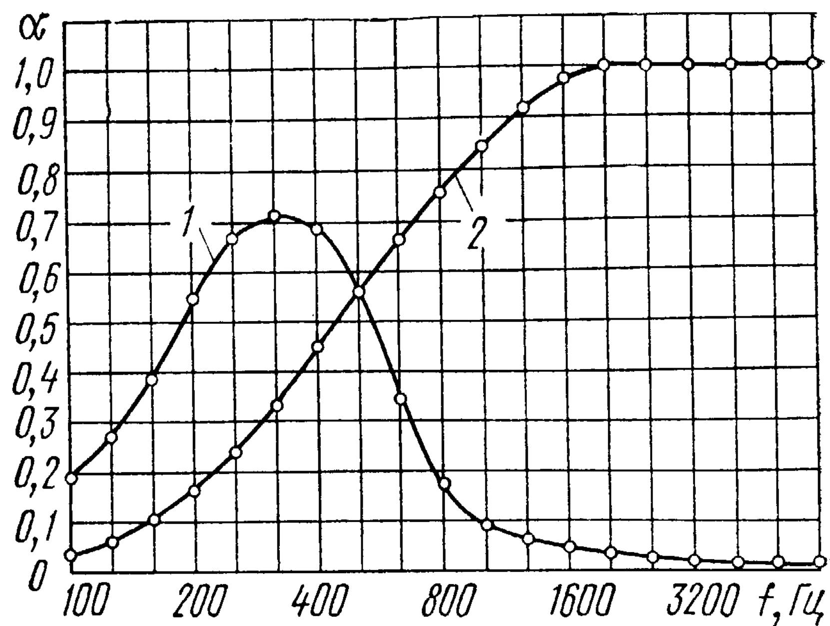


Рис. 112. Свойства двух видов звукопоглотителей. Типичный вид кривых коэффициента звукопоглощения

1 — коэффициент поглощения резонаторов в виде обычных и перфорированных плит и резонаторов Гельмгольца; *2* — то же, пористых поглотителей

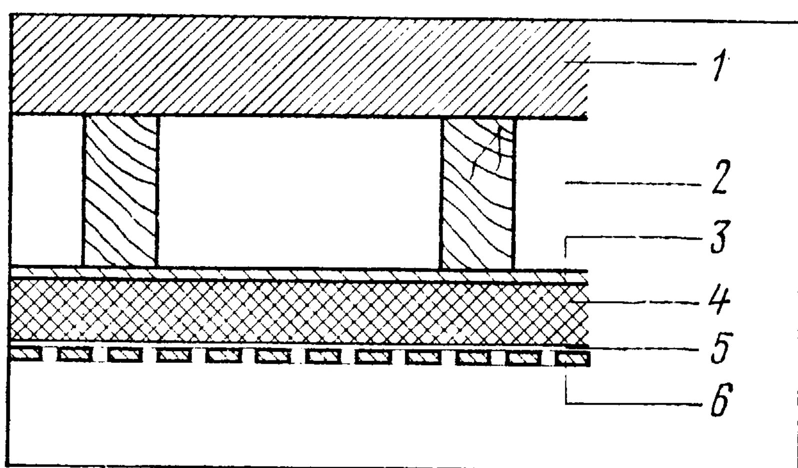


Рис. 113. Принципиальное устройство комбинированного плитного вибратора

1 — массивная конструкция (перекрытие или стена); *2* — требуемое расстояние между поглотителем и массивной конструкцией; *3* — абсорбирующее (звукопоглощающее) покрытие (плита); *4* — звукопоглощающий материал (пористый); *5* — пленочное покрытие; *6* — перфорированное покрытие

мер. Он составляет около 0,4 м² при минимальной длине стороны 0,5 м [10]. Эта поверхность должна быть также свободна от поддерживающих элементов жесткости. Рациональной комбинацией служит устройство, представленное на рис. 113. Путем нанесения пористых материалов на плиту конструкция приобретает достоинства обоих типов поглотителей, благодаря чему удается создать широкополосный поглотитель.

Если поглотители обоих типов устанавливаются на внутренней стороне наружных конструкций, с точки зрения диффузии паров образуется неблагоприятная последовательность слоев, так как на внутренней стороне создается дополнительная теплоизоляция.

Существенное влияние на время реверберации оказывает численность находящихся в помещении слушателей. Поэтому следует учитывать, что только малая часть занятой слушателями поверхности (легкие кресла, отделанные звукопоглощающими материалами стулья) характеризуется таким значением коэффициента поглощения, как незанятая. Такое влияние числа слушателей на время реверберации позволяет оценивать реверберационные характеристики лекториев по числу кресел в каждом объеме помещения. Для концертных залов оптимальное значение объема составляет 8—9 м³ на

каждого слушателя, для маленьких лекториев — около 4—5 м³. В большинстве случаев лектории проектируются для различного назначения. Поэтому невозможно для всех вариантов использования достичь оптимальной реверберации, если предвидится возможность изменения площади поглощающей поверхности. В связи с этим решение о желательном времени реверберации определяется наиболее частым видом использования помещения (табл. 23).

ТАБЛИЦА 23. ОПТИМАЛЬНЫЕ ОБЪЕМЫ ПОМЕЩЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЧИСЛА СЛУШАТЕЛЕЙ

Тип помещения	Объем на 1 место, м³
Кинотеатр	3—4
Школьный класс	4,5—5,5
Зрительный, лекционный зал	4—5
Зал для пения и музыки	5—6
Театр	7—9
Концертный зал (6000—15 000 м³)	6—7
	7—9
Многоцелевой зал	7—8
Культовое учреждение	10
Радиостудия (в зависимости от численности оркестра)	10—50

2. Помещения второй группы Уровень звука в помещениях этой группы должен быть максимально низким. Это достигается в первую очередь применением соответствующих звукопоглощающих материалов, как правило, в зоне перекрытий и стен. Расчеты выполняют по формуле (80). Зоны наиболее интенсивного шума или чувствительные к нему могут быть дополнительно отделены от основного помещения экранирующими стенами. Последние следует устанавливать как можно ближе к источникам звука или к защищаемому месту и выполнять по возможности высокими. Благодаря звукопоглощающей облицовке стороны стены, обращенной к источнику звука, отражения уменьшаются и уровень шума перед стеной снижается.

Перекрытие над экранирующей стеной или стена, проходящая близко от нее, должны быть облицованы звукопоглощающим материалом для предотвращения отражения. Для оценки снижения уровня шума, достигаемого при установке экранирующих стен, служит рис. 183 приложения. При частично открытых капсулах следует действовать таким же способом.

При использовании акустических мероприятий в помещениях второй группы следует учитывать, что в этих помещениях должен иметь место определенный минимальный диффузный уровень шума с тем, чтобы неизбежные отдельные шумы не слишком выделялись своим мешающим действием или чтобы для отдельных зон сохранялся обусловленный акустически и физиологически уровень шума.

Удаление от отдельного источника звука, при котором диффузный или прямой звук имеют равный уровень, так называемый радиус реверберации r_p (м), определяется по формуле

$$r_p = 0,2\sqrt{A_0}. \qquad (91)$$

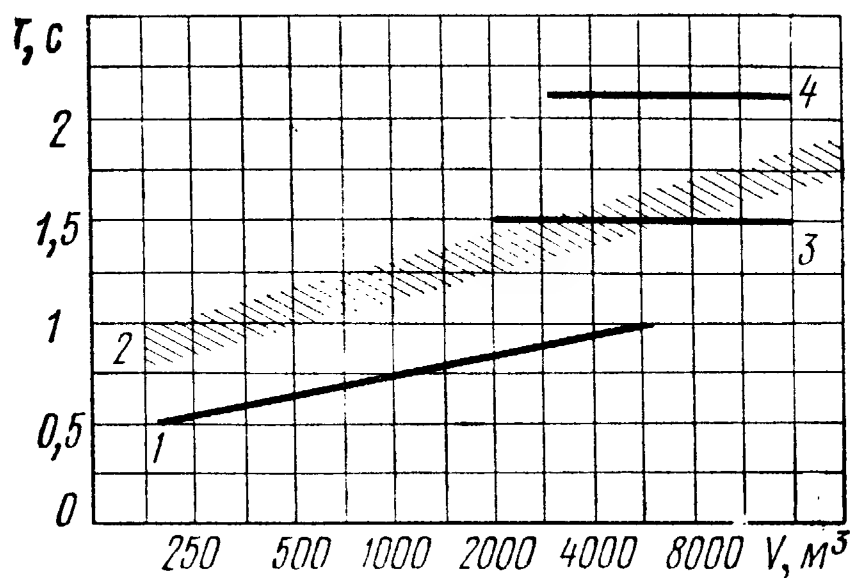


Рис. 114. Оптимальное время реверберации T при частоте 1000 Гц в зависимости от объема помещений V

1 — речь; *2* — музыка (средняя зона); *3* — классическая и современная музыка; *4* — лирическая музыка

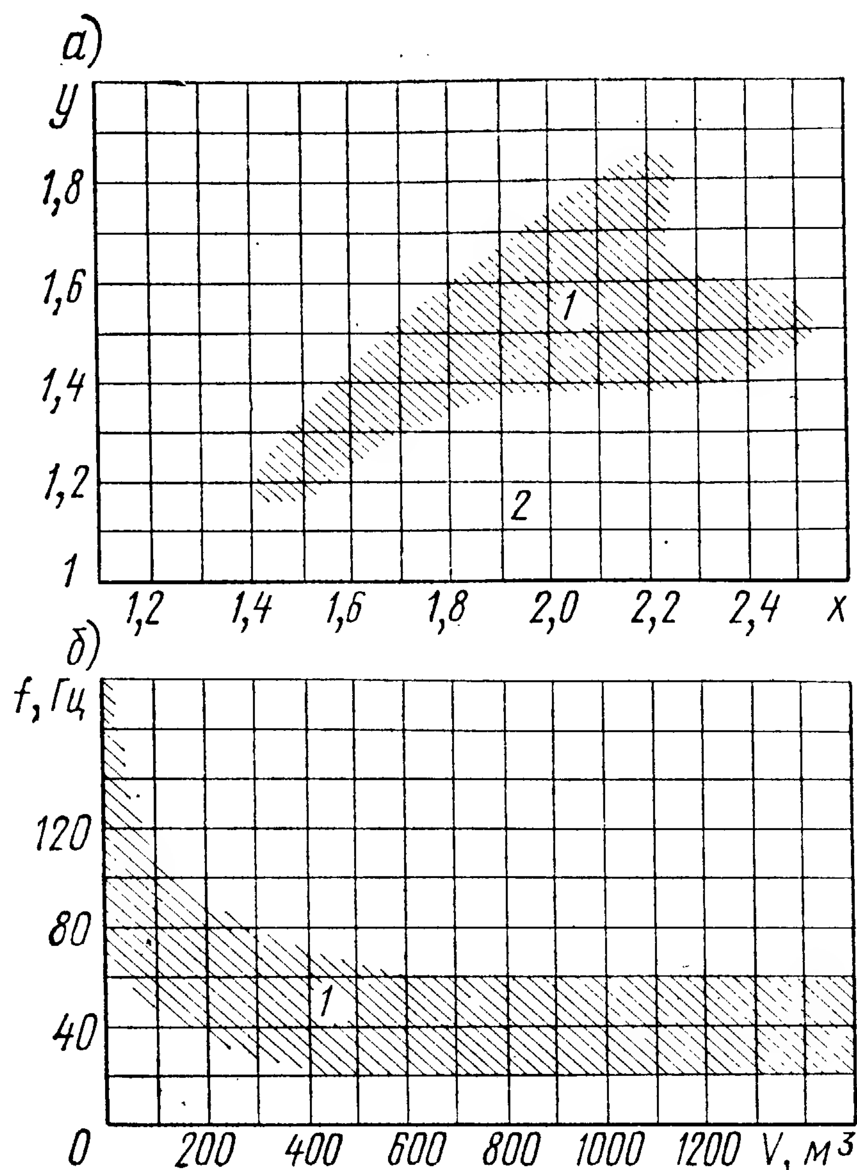


Рис. 115. Оптимальные пропорции помещений [*R. H. Bolt*]

а — распределение собственных частот прямоугольного помещения с параллельными ограничивающими поверхностями с соотношением сторон 1 : x : y; *1* — благоприятная область; *2* — неблагоприятная область; *б* — область применения диаграммы *а*

ТРЕБОВАНИЯ И ОЦЕНКА

Для помещений первой группы наряду с DIN 18041 следует учитывать граничные значения, приведенные на рис. 114, 115 и в табл. 22 и 23.

Для определения фактического времени реверберации следует пользоваться указаниями DIN 52216.

Граничные значения для помещений второй группы также устанавливаются DIN 18041. Кроме того, DIN 18041 ограничивается допустимый уровень мешающего шума бытового инженерного оборудования, установок промышленных предприятий и наружных шумов.

Более подробные данные о допустимом уровне шума в жилых и рабочих помещениях и других используемых зонах находятся в Указаниях Общества немецких инженеров 2719.

В дополнение к этим требованиям следует обратить внимание на табл. 7 и 8 приложения [374].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

10, 13, 24, 217, 333, 352, 359, 364, 367, 374, 375.

ПРИМЕР
ПРОЕКТ НЕБОЛЬШОГО ЛЕКЦИОННОГО ЗАЛА

Задание. В помещении (рис. 116) должен быть размещен лекционный зал примерно на 200 человек. При этом должна быть предусмотрена возможность для использования диапроектора для демонстрации моделей, опытов на столах, а также установки доски.

Рис. 116. Проект небольшого зрительного зала

Решение. 1. Заданное помещение имеет следующие размеры (м): длина — 14, 26, ширина — 15, высота — 5,1. На фронтальной стороне должна быть установлена доска *t* шириной 4 м, высотой 5 м, а также экран для проектора *P* шириной 7,5 м и высотой 3,6 м.

Над зоной эстрады не могут быть размещены отражатели, так как в противном случае они будут мешать проецированию. При устройстве отражателей в зоне потолка следует учитывать определенную минимальную высоту помещения.

Подъем зрительного зала *h* в этом случае ограничивается нижним краем проекционной поверхности и составляет 10 см, т. е. *h* больше, чем требуется,

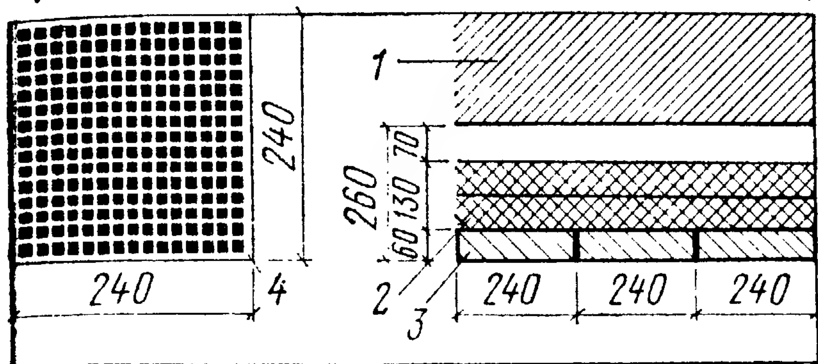


Рис. 117. Звукопоглощающая облицовка стен. Лицевой слой из пустотных камней
1 — массивная стена; 2 — два слоя минерально-волокнистых матов; 3 — оболочка из пустотных камней; 4 — поверхность камней пустотностью 40%

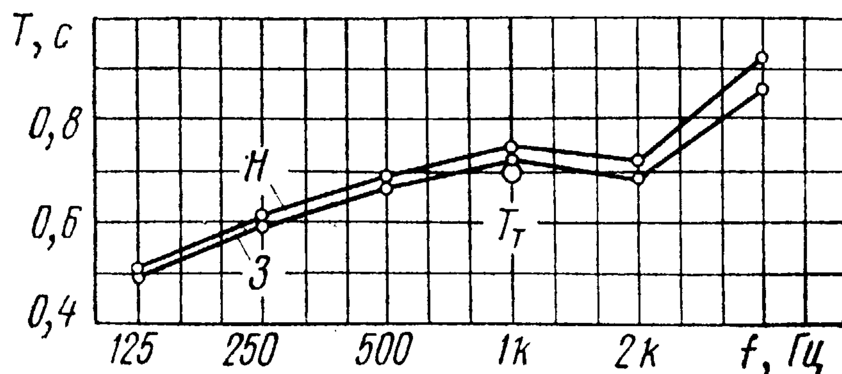


Рис. 118. Фактическое время реверберации
3 — поверхность, занятая публикой; Н — поверхность, не занятая публикой; $T_т$ — требуемое время реверберации при частоте 1000 Гц

исходя из акустических соображений. Применяемые для отделки стен, полов и обивки стульев материалы должны быть прочными.

2. Зона размещения зрителей *S* устанавливается таким образом, чтобы происходило максимальное озвучивание ее прямым звуком. Зал имеет 11 рядов по 18 мест; общее число мест — 198, расстояние между рядами — 0,85 м, ширина места — 0,65 м. В результате образуется расположенный поперек зала прямоугольник длиной 9,35 и шириной 11,7 м. Его площадь $S \approx 110$ м^2.

3. Зона эстрады *g* для улучшения озвучивания зала прямым звуком приподнята на 15 см. Для определения месторасположения поверхностей отражения и поглощения место оратора размещается между доской и проекционной поверхностью.

4. Определение отражающих поверхностей. Они ориентируются таким образом, чтобы обеспечивалось усиление уровня звука в последних шести рядах. При этом надо обращать внимание на отрицательное явление возникновения слишком большой разности путей прохождения звука Улучшение диффузности звука достигается благодаря небольшим переломам поверхностей потолка и боковых стен. Последние предотвращают также вибрирующее эхо.

5. Устройство звукопоглощающих поверхностей *a* и *a'* предусмотрено таким образом, чтобы можно было избежать образования эха.

6. Строительный объем зала составляет 940 м^3, что не превышает максимального объема (см. табл. 22). Отношение объема к количеству мест — 940 : : 198 = 4,75, что является благоприятным (см. табл. 23). Оптимальное время реверберации для этого помещения $T_{опт} = 0{,}7$ с (см. рис. 114). Следовательно, требуемая звукопоглощающая поверхность составляет:

$$A_{тр} = 0{,}163 \frac{940}{0{,}7} = 219 \text{ м}^2.$$

7. Используемые материалы. Кресла *s* — откидные сиденья с приклеенным к нижней стороне звукопоглощающим материалом. Поверхность проходов *v* и эстрады *g* — линолеум. Проекционная поверхность *p* и доска *t* — окрашенные древесностружечные плиты. Отражающие поверхности стен *b* и *f* — неоштукатуренная кирпичная кладка. Звукопоглощающие поверхности стен *a'* и *a* выложены пустотелым кирпичом, отверстия которого обращены внутрь помещения. Потолки *d* (отражатели) представляют собой плиты, обладающие высоким коэффициентом отражения при передачи речи. Входные двери *e* выполнены из дерева. Фактическая общая звукопоглощающая поверхность $A_{факт}$ находится в пределах 312 и 166,9 м в акустическом диапазоне измерения (табл. 24).

8. В связи с этим фактическое время реверберации $T_{факт}$ колеблется между 0,49 и 0,92 с (рис. 118).

9. Комментарий. Оптимальное время реверберации хорошо обеспечивается в наиболее важной для разборчивости речи зоне, как при пустом, так и при заполненном зрительном зале. При этом в зоне частот около 125 Гц звук приглушается несколько сильнее, чем это необходимо.

ТАБЛИЦА 24. ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИЕ ПОВЕРХНОСТИ (СМ. РИС. 166)

Ограничивающие поверхности	Материал поверхности	Площадь, м²	Коэффициент звукопоглощения, α						Эквивалентные звукопоглощающие поверхности, м²					
			125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000
Поверхность аудитории s:		110												
занятой слушателями	—		0,54	0,66	0,78	0,85	0,83	0,75	59,4	72,6	85,8	93,5	91,3	82,5
не занятой слушателями			0,45	0,6	0,73	0,8	0,75	0,64	49,5	66,0	80,3	88,0	82,5	70,4
Поверхность проходов v и эстрады g	Линолеум	100	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06	0,05	2	3	3	4	6	5
Проекционная поверхность p и доска t	Стружечная плита	47	0,26	0,11	0	0	0,03	0,04	12,2	5,2	0	0	1,4	1,9
Цокольная зона и остальные боковые поверхности фронтальной стены f	Кирпичная стена	18												
Отражающая поверхность боковых стен b	Неоштукатуренная	88	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	1,1	1,1	2,1	2,1	3,2	3,2
Звукопоглощающая поверхность боковых стен a	Дырчатый кирпич	80	0,75	1,06	1,05	0,94	1,05	0,75	79,5	112,4	111,3	96,6	111,3	79,5
Задняя стена a^1		26												
Перекрытие d	Фанера	210	0,75	0,30	0,12	0,05	0,04	0,03	157,5	63,0	25,2	10,5	8,4	6,3
Двери e	Дерево	5	0,2	0,15	0,1	0,08	0,09	0,11	1,0	0,8	0,5	0,4	0,5	0,6
Общая звукопоглощающая поверхность A_0	Занятая								312,7	258,1	227,9	204,9	222,1	179
	Незанятая								302,8	251,5	222,4	201,6	213,3	166,9

ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ ОТ ВОЗДУШНОГО ШУМА

ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

При проектировании внутренних стен зданий уделяется внимание выбору конструкций, материалов, несущей способности, стоимости, а также проверке их звукоизолирующей способности от воздушного шума.

При этом в первую очередь следует оценивать шумовую нагрузку от соседнего помещения, которая определяется архитектурно-планировочным решением — функциональным назначением последнего и определяет величину затрат на необходимые звукоизоляционные мероприятия.

Далее выбирают вид ограждения (однослойное или многослойное). Сюда относятся сведения об изоляционных свойствах стеновых конструкций, их преимуществах и недостатках. Так как звукоизоляция от внешнего шума зависит не только от типа перегородок и качества их выполнения, следует принимать во внимание все конструкции, ограждающие интересующее нас помещение.

Затем следует проанализировать с точки зрения звукоизоляции перекрытия, окна и двери и рассмотреть их изоляционные свойства совместно со стенами и перегородками.

Результатом такого параллельного и поэтапного рассмотрения всех сторон проблемы является принятие проектного решения по конструкциям перекрытий, перегородок, окон и дверей.

Устройство конструкций перекрытий. При достаточной звукоизоляции перекрытий от ударного шума необходимо обеспечить также их достаточную звукоизоляцию от воздушной звуковой нагрузки, особенно в отношении легких, неоднородных конструкций, перекрытий, которые являются одновременно верхними покрытиями, особенно легких плоских кровель (холодные кровли из древесины) и трапецеидальных кровель из листовой стали.

Устройство перегородок. В зависимости от ожидаемого эффекта проектируют: перегородки, выполняющие функцию «ширмы»; перегородки со звукоизоляцией, которая должна соответствовать минимальным требованиям DIN 4109; с повышенной звукоизоляцией по предложениям DIN 4109 «повышенная звукоизоляция»; перегородки с максимальной звукоизолирующей способностью для особого использования (конференц-залы, комнаты для медицинского обслуживания и т. д.).

Устройство окон. В зависимости от акустических воздействий следует последовательно, по мере повышения требуемых звукоизоляционных качеств, проектировать следующие возможные устройства: одинарные окна во внутренних стенах; многостекольные теплозащитные окна без особой защиты от воздушного шума; многостекольные звукоизоляционные, а также спаренные окна и окна с двой-

ными переплетами; дополнительную звукоизоляцию с помощью сворачивающихся жалюзи.

Устройство конструкции дверей. В зависимости от требований по звукоизоляции от воздушного шума приходится разрабатывать: одинарные двери с небольшим весом и невысокой изолирующей способностью; одинарные двери с повышенным весом со средней и высокой звукоизолирующей способностью; двойные и специальные двери с максимальной звукоизолирующей способностью.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Понятие и основные величины. Звукоизоляцию от воздушного шума или звукоизоляцию между двумя помещениями или зонами обеспечивают свойства ограждения, принцип действия которых заключается в том, что звуковые волны, попадая на твердое препятствие, частично отражаются, при этом часть их энергии возвращается в помещение. Остающаяся в конструкции энергия сообщает этому препятствию колебания. Таким образом возникает корпусной шум. При этом уровень скорости L_V может быть вычислен через величину возбуждения изоляции R_ε [289]:

$$L_v = L - R_\varepsilon - 6, \text{ дБ}. \quad (92)$$

Корпусной шум распространяется в возбужденной конструкции во все стороны. При этом одна часть звуковой энергии теряется вследствие рассеивания, вторая при распространении переносится в другие конструкции. Однако бóльшая часть излучается в соседние помещения в виде воздушного шума. Уровень мощности звука L_p, излучаемого конструкцией в соседнее помещение, зависит от величины излучения изоляции R_σ [289] и площади поверхности S, излучающей звук:

$$L_P = L_v - R_\sigma + 10 \lg S, \text{ дБ}. \quad (93)$$

Вследствие этого уровень воздушного шума в помещении, не испытывающем звукового давления, всегда меньше, чем первоначальный уровень в зоне шума.

Таким образом, создаваемая конструкцией общая звукоизоляция может определяться величиной звукоизоляции R (или коэффициентом звукоизоляции R):

$$R = R_\varepsilon + R_\sigma, \text{ Б}. \quad (94)$$

Величина звукоизоляции может быть определена также непосредственно через мощности звука P и P', находящиеся перед конструкцией и за ней.

$$R = 10 \lg \frac{P_1}{P_2}, \text{ дБ}. \quad (95)$$

Однако пользователя помещения часто интересует не звукоизоляция нормального поперечного сечения стены, а разность уровней звука D между помещением с источником шума и соседней с ним зо-

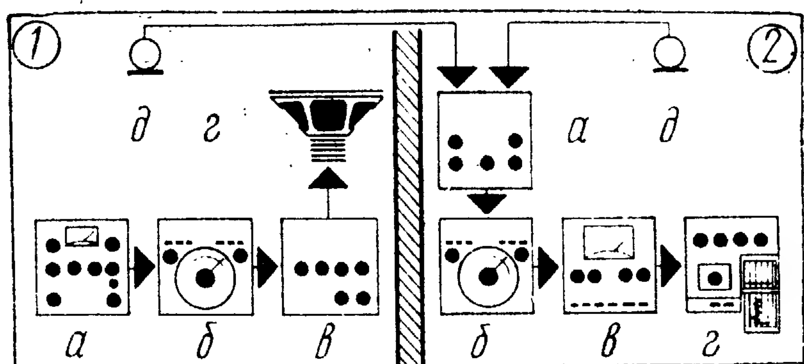


Рис. 119. Измерение звукоизоляции от воздушного шума

1 — помещение высокого уровня звука; *а* — генератор шума; *б* — терциальный (октавный) фильтр; *в* — усилитель мощности; *г* — громкоговорящее устройство; *д* — микрофон; *2* — помещение низкого уровня шума звука: *а* — двухканальный переключатель; *б* — терциальный (октавный) фильтр; *в* — измерительный усилитель; *г* — самописец уровней; *д* — микрофон

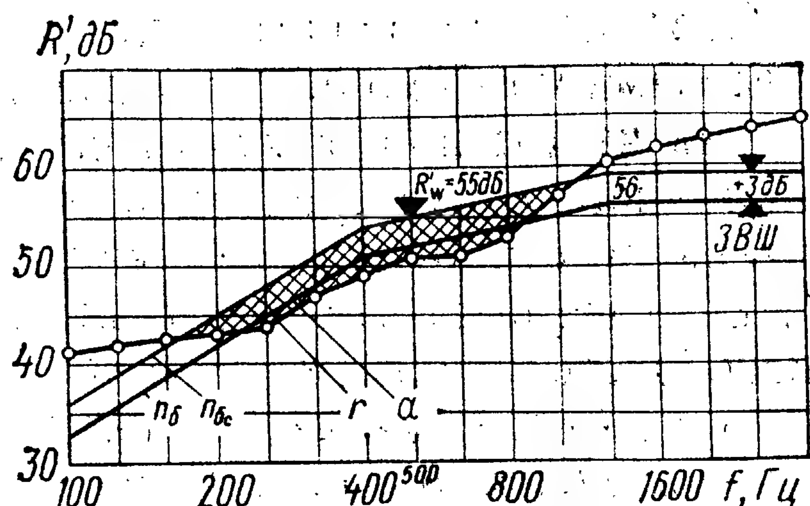


Рис. 120. Величина звукоизоляции R' в зависимости от частоты f

г — определенная терциальным способом кривая звукоизоляции оштукатуренной с обеих сторон стены из силикатного бетона толщиной 24 см, масса 1 м² = 480 кг; $n_б$ — базовая кривая по DIN 52210; $n_{б_с}$ — сдвинутая базовая кривая; *а* — зона допустимых отрицательных отклонений (здесь $\Sigma=29$ дБ); средняя величина конструктивной звукоизоляции $\overline{R'}=52$ дБ; расчетная величина конструктивной звукоизоляции $R'_w=55$ дБ; величина звукоизоляции от воздушного шума ЗВШ = +3 дБ

ной. Легко видеть, что площадь разделяющих (переносящих звук) поверхностей стен S влияет на эту разность, как и оснащение измеряемого помещения (не имеющего звуковой нагрузки) поглощающими материалами. При увеличении площади разделяющей поверхности S разница уровней уменьшается, а повышается с увеличением эквивалентной звукопоглощающей поверхности A_0:

$$D=L_1-L_2=R-10\lg\frac{S}{A_0}, \text{ дБ}. \quad (96)$$

Таким образом, в зависимости от акустической отделки измеряемого помещения и размера рассматриваемой стены разность уровней звука может быть больше или меньше, чем величина звукоизоляции. Однако в большинстве случаев для оценки конструкции приходится использовать понятие звукоизоляции (рис. 119). Если величина звукоизоляции конструкции в построенном здании или в лаборатории определяется с имитацией условий строительства (то есть с учетом обычных строительных косвенных путей), то она называется строительной звукоизоляцией R'. Последняя всегда ниже уровня звукоизоляции, определенного в лабораторных условиях.

В соответствии с изложенными рассуждениями проводятся измерения звукоизоляции, в которых при нормируемых условиях [356] устанавливается разность уровней между двумя помещениями с учетом величины разделяющей поверхности и условий звукопоглощения треть-октавным способом; по уравнению (94) определяется величина звукоизоляции и наносится на диаграмму. Эта диаграмма по частоте охватывает всю так называемую «строительно-акустическую область измерений» [324], нижняя граница которой имеет частоту 100 Гц, а верхняя — 3200 Гц.

Ограничение значительно большей области слышимости этими пределами можно объяснить для нижней зоны незначительной долей низких частот при обычных шумах в зданиях, для верхней — изоляционной характеристикой конструкций. Путем деления треть-октавным интервалом величины звукоизоляции строят кривые r или r', которые относительно точно характеризуют звукоизолирующую способность конструкций (рис. 120).

В особых случаях, например, если требуемый по DIN 52210 порядок величин объектов измерения не соблюдается или если измеряемое помещение не является непосредственно соседним и по этим причинам задание величины звукоизоляции невозможно, следует прибегнуть к нормативной разности звуковых уровней D_n. При этом базовая поглощающая поверхность для среднего помещения площадью 10 м² вычисляется по формуле

$$D_{\text{п}} = D + 10 \lg \frac{10}{A_0}, \text{ дБ}. \quad (97)$$

Оценка конструкции по звукопереносящей способности происходит путем задания коэффициента пропускания τ, который может быть вычислен как отношение значений акустических мощностей по обе стороны препятствия

$$\tau = \frac{P_2}{P_1}. \quad (98)$$

Зависимость звукоизоляции R от величины коэффициента пропускания τ определяется следующим соотношением:

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau}, \text{ дБ}. \quad (99)$$

На практике бывает необходимо с минимальными техническими данными описать свойства конструкций относительно ее статической, конструктивной и строительно-физической пригодности. Аналогично в звукоизоляции трудно заменить дорогостоящую форму представления в виде звукоизоляции кривой цифровыми данными без того, чтобы не слишком обеднить информационную ценность кривой.

Вследствие этого были разработаны определенные понятия. В частности, предложены «средняя величина звукоизоляции $\bar{R}$», «величина звукоизоляции от воздушного шума ЗВШ» и одно из последних словообразований— «оцениваемая величина звукоизоляции R_W», которая вводится в ожидаемой новой редакции DIN 4109.

Звукоизоляцию, определенную треть-октавным способом, можно оценить путем получения среднего арифметического значения. Если сложить все 16 значений строительно-акустической области измерений и разделить сумму на число измерений, то может быть получена средняя величина звукоизоляции $\bar{R}$ или средняя величина строительной звукоизоляции $\overline{R'}$ для кривых, которые были определены при строительных условиях. Однако этот метод образования

среднего значения оказывается в дальнейшем непригодным. Поэтому DIN 4109 [324] предлагает для оценки кривых звукоизоляции от воздушного шума следующий способ.

Измеренная кривая звукоизоляции r сопоставляется с определенной базовой кривой n_L, определяемой чувствительностью уха. n_L своим «нулевым положением» отражает одновременно минимальное требование к конструкции по звукоизоляции от воздушного шума.

При оценке базовая кривая, таким образом, сдвигается из нулевого положения в направлении оцениваемой кривой звукоизоляции до тех пор, пока сумма отрицательных треть-октавных отклонений не будет составлять максимум 30 дБ. При суммировании снижение производится по возможности при 100 или 3200 Гц лишь наполовину, что учитывает граничный характер значений этих измерений. Среднее отклонение составляет максимум 30 : (16 — 1) = = 2 дБ. При такой оценке превышения не учитываются, чтобы избежать компенсации отрицательных значений положительными. Величина сдвига базовой кривой из своего нулевого положения, который выполняется лишь на целое число децибелл, называется величиной звукоизоляции от воздушного шума ЗВШ (дБ). В соответствии с этим при сдвигах кривая содержит в верхней части положительные, а в нижней — отрицательные значения ЗВШ. DIN 52210 вводит в качестве нового понятия для обозначения изоляции от воздушного шума оцениваемую величину звукоизоляции R_W или оцениваемую величину звукоизоляции конструкции R'_W, которые, при незначительных отличиях, соответствуют рекомендованному международной организацией по стандартизации (ISO) понятию I_a (индекс звукоизоляции) [378]. Оцениваемая величина звукоизоляции определяется таким же образом, как величина звукоизоляции от воздушного шума, однако в отличие от последнего задается не величиной сдвига базовой кривой, а величиной звукоизоляции сдвинутой базовой кривой при 500 Гц, так что связь этих величин задается соотношением R_W = ЗВШ + 52 дБ. На рис. 107 определены все три условные обозначения для однослойной стены с типичной кривой звукоизоляции.

В теоретическом отношении звукоизоляция от воздушного шума рассматривается с четырех точек зрения: физические закономерности изоляции однослойной конструкции; основные величины, определяющие звукоизоляцию многослойной конструкции; изолирующая способность составных поверхностей с различными изоляционными свойствами; влияние неплотностей.

При этом создается возможность для теоретического определения изолирующей способности. Однако результаты этих расчетов являются в большинстве случаев лишь приближенными решениями.

2. Звукоизоляция от воздушного шума однослойной конструкции. Определение: конструкция является в акустическом отношении однослойной, если материальные точки этой конструкции, лежащие

на нормали к поверхности, при колебаниях последней не изменяют расстояния между собой. Это справедливо также для многослойных конструкций.

2.1. Закон массы. В предыдущем разделе было показано, что большая часть звукоизолирующей способности конструкций возникает благодаря отражению воздушной звуковой волны от конструкции, при этом дополнительная часть энергии приводит конструкцию в колебательное движение. Приведенные рассуждения касались однослойной конструкции, которая никакой звуковой энергии через поры и неплотности не пропускает. Это предположение остается справедливым для всех дальнейших теоретических рассмотрений.

Легко видеть, что для возбуждения колебаний в тяжелой конструкции необходимо затратить больше энергии, чем в легкой; таким образом, при одинаковом уровне звука тяжелая конструкция изолирует звук лучше. Это положение было сформулировано в качестве закона массы в 1910 г. Р. Бергером [70]. Оно гласит, что величина звукоизоляции R при каждом удвоении массы поверхности M или частоты f повышается на 6 дБ. При этом Бергер исходил из предположения о перпендикулярном к поверхности падении звука. Если при рассмотрении этого вопроса исходят из предположения о диффузном звуковом поле, то для определяемой теоретическим путем величины звукоизоляции получается следующая расчетная формула:

$$R = 20 \lg (fM) - 45, \text{ дБ}. \quad (100)$$

Исследования, в том числе [14, 278], показывают, что определяемые таким образом теоретические значения звукоизоляции на практике не достигаются.

Бергер в более поздних публикациях сформулировал такую эмпирическую закономерность:

$$R \approx 18 \lg M + 12 \lg f - 25, \text{ дБ}. \quad (101)$$

Другие авторы приходят к иным результатам.

Брюкмайер [3] предлагает для расчета средней величины звукоизоляции R следующую зависимость:

$$\bar{R} \approx 12 + 5{,}3\sqrt[3]{M}, \text{ дБ}. \quad (102)$$

Расчетные значения, полученные по (102), при массе 1 м^2 поверхности (M) около 40 кг хорошо совпадают с результатами, полученными Гёзелем и Шюле [14] (рис. 121).

На рис. 121 представлена вся область разброса значений оцениваемой величины звукоизоляции однослойных конструкций в зависимости от массы их поверхности.

Причиной расхождения между расчетной и фактически измеренной звукоизоляцией является тот факт, что в однослойной конструкции распространяются изгибные волны, которые существенно влияют на звукоизоляцию в определенной области частот.

2.2. Совпадение. Если однослойная стена возбуждается в одной точке каким-то возбудителем колебаний то в ней (см.рис. 122,*1*) с определенной скоростью распространяются изгибные волны.

Скорость c_b зависит от объемного веса и модуля упругости E материала, толщины стены и частоты возбуждения.

При падении воздушной звуковой волны под углом (см. рис. 122,*2*) в стене возникают изгибные волны. Совпадение длины изгибной волны с длиной воздушной волны приводит к возникновению «пространственного резонанса».

Максимум давления приходится всегда на зону, в которой стена «выдавливается» изгибной волной. Это явление называется согласованием или совпадением. При этом большое значение имеет угол падения звуковой волны (122.*3*): чем более полого падают волны, тем больше могут быть их длины и ниже частота. Наиболее низкая частота звуковой волны, падающей параллельно стене, вызывающая совпадение, называется граничной частотой совпадения $f_{гр}$, которая определяется по формуле

$$f_{гр} = \frac{2 \cdot 10^4}{d} \sqrt{\rho \frac{(1-\sigma^2)}{E}}, \text{ Гц}, \tag{103}$$

где d — толщина стены, см;
ρ — плотность, кг/м³;
E — модуль упругости, $10^5 \cdot$Н/м²;
σ — коэффициент Пуассона (для металлов — 0,3, для других материалов — 0,4).

Достаточно точно для практического применения гранич-

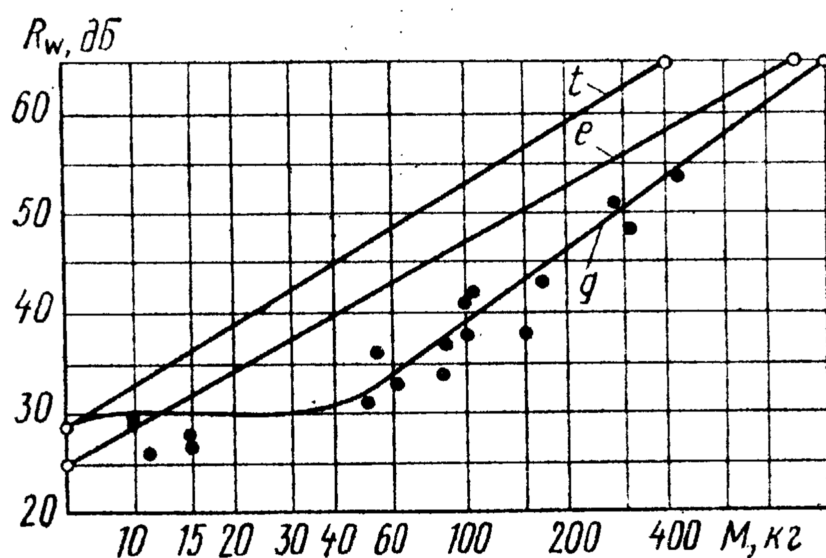


Рис. 121. Звукоизоляция от воздушного шума однослойной конструкции [14]

t — теоретическая кривая закона массы (по Р. Бергеру); *e* — то же, эмпирического закона массы (по Р. Бергеру); *g* — измеренные значения звукоизоляции

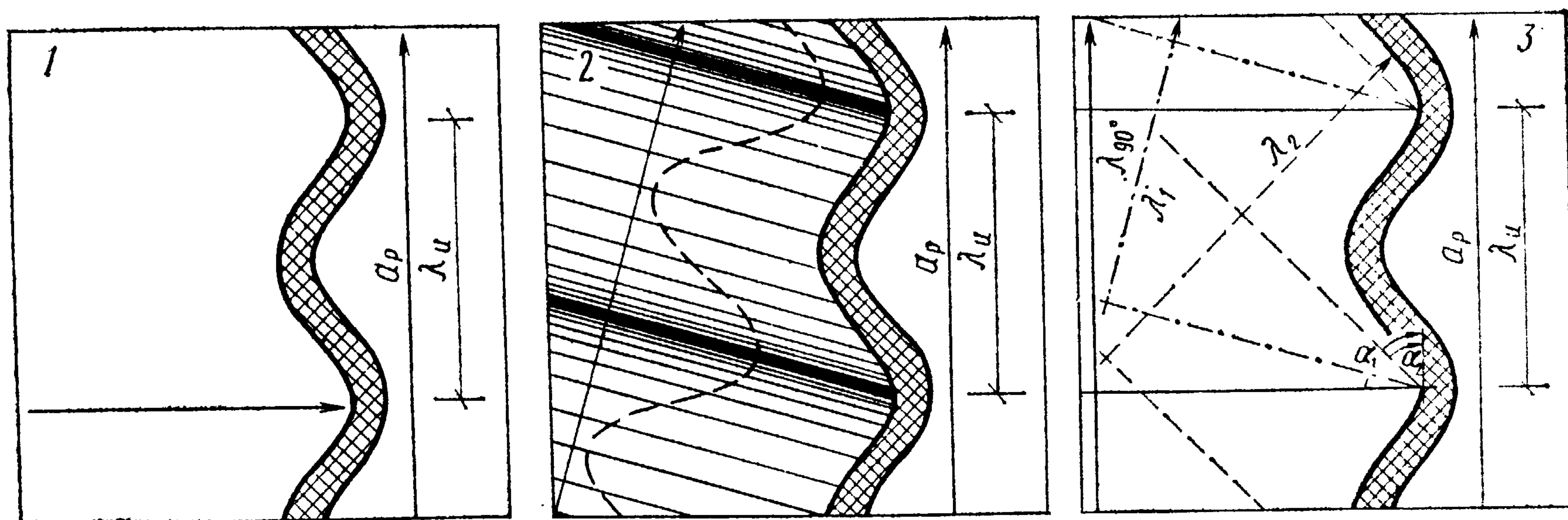


Рис. 122. Совпадение

1 — возбужденные в одном месте оболочки изгибные волны распространяются с длиной волны $\lambda_и$ (a_p — направленное распространение изгибной волны); *2* — если на конструкцию попадают чередующиеся звуковые воздушные волны, то при различных длинах волн это приводит к совпадению, если максимумы обоих волновых движений совпадают; *3* — чем более полого падает волна, тем больше ее длина $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$

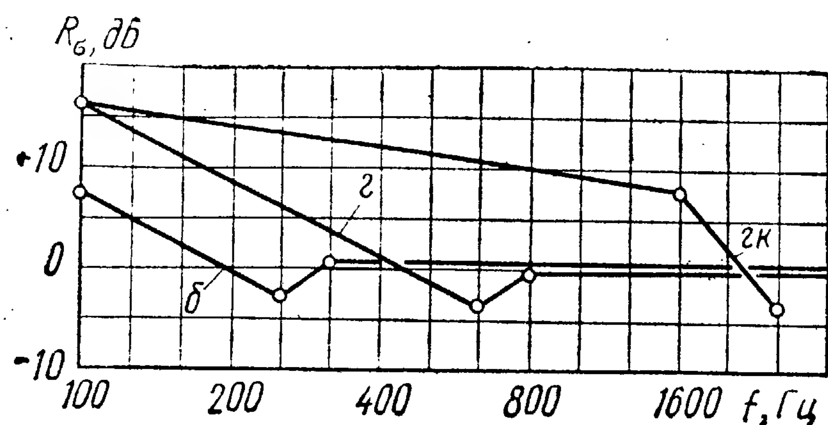


Рис. 123. Излучательная способность стен. Средние значения излучения $R\sigma$ **[10]**

г — гипсовых стен толщиной 70 мм; *б* — бетонных стен толщиной 70 мм; *гк* — гипсокартонных плит на перпендикулярных брусьях

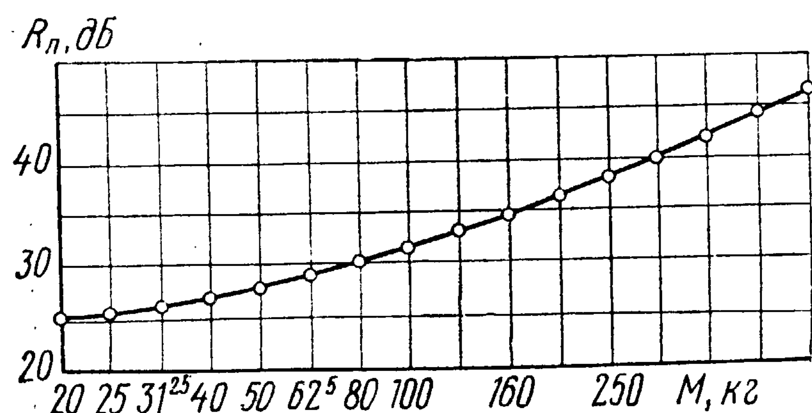


Рис. 125. Значения звукоизоляции плит $R_п$ **из бетона, кирпичной кладки и гипса в зависимости от массы единицы поверхности M [137]. Звукоизоляция плит из других материалов (точки диаграммы)**

свинец — 56 дБ; сталь — 40 дБ; алюминий — 29 дБ; стекло — 27 дБ; древесина, фанера — 20 дБ; древесные материалы — 20 дБ

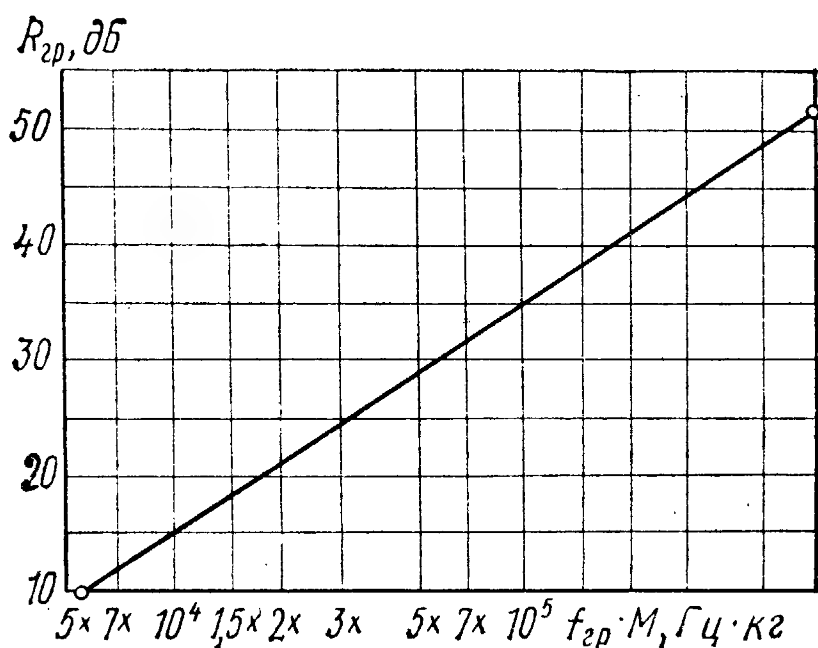


Рис. 124. Звукоизоляция в зоне совпадения. Величина звукоизоляции $R_{гр}$ **при граничной частоте совпадения в зависимости от произведения массы единицы поверхности и граничной частоты совпадения** $f_{гр}\cdot M$ **[10]**

ная частота может быть определена следующим образом:

$$f_{гр} = \frac{2\cdot 10^4}{d}\sqrt{\frac{\rho}{E}},\ \text{Гц}. \quad (104)$$

При этом конструкции, у которых после подстановки конструктивных данных граничная частота совпадения составляет свыше 2000 Гц, называются гибкими. Если же граничная частота совпадения меньше 200 Гц, конструкции считаются жесткими на изгиб (рис. 123). Граничные значения устанавливаются относительно произвольно и имеют в специальной литературе значительные колебания.

Вследствие того что диффузное звуковое поле включает волны всех частот и направлений, следует обращать внимание на верхнюю граничную частоту эффекта совпадения, поскольку это может привести к отрицательной звукоизоляции. Таким образом, гибкость конструкции оказывает решающее влияние на ее излучательную способность. Величина излучения изоляции зависит от изменения отношения возбуждающей частоты звука к фактической граничной частоте. В зоне ниже граничной частоты величина излучения изоляции тем больше, чем ниже возбуждающая частота. Она повышается на 1,5 дБ при каждом удвоении октавного расстояния. Если частота звука достигла $f_{гр}$, то в этой зоне R_σ может быть отрицательной, что свидетельствует о плохой звукоизоляции однослойной конструкции. В области частот выше $f_{гр}$ величина излучения звукоизоляции остается постоянной и равной 0 дБ.

Кроме того, величина излучения изоляции возрастает при увеличении площади свободно колеблющейся поверхности, не имеющей

ребер жесткости, и т. п. Так, поверхность, разделенная на четыре участка, имеет на 3 дБ меньшую величину излучения, чем равная по площади, не разделенная жесткими элементами поверхность. Звукоизоляция в зоне совпадения граничных частот может быть приближенно определена по графику на рис. 124.

2.3. **Кривая звукоизоляции (рис. 126).** По описанным теоретическим зависимостям может быть построена кривая звукоизоляции однослойной конструкции. При этом следует обратить внимание на тот факт, что из-за недостаточного учета граничных условий и других имеющихся на практике ограничений (слоистость или неоднородность конструкции) это теоретическое определение допускает лишь качественную оценку звукоизолирующей способности. По уравнению (100) величина звукоизоляции определяется при любой частоте. Через эту точку R проходит прямая звукоизоляции a с повышением на 6 дБ на каждую октаву. Граничная частота совпадения $f_{гр}$ определяется по формуле (104). Величина звукоизоляции при $f_{гр}$ — по графику на рис. 124. Через точку $R_{гр}$ проходит прямая звукоизоляции b с повышением на 7 дБ на каждую октаву. Далее наносится высота площадки (рис. 126), которая пересекает прямые a и b в точках A и B. Соединение точек A и B через наиболее низко расположенную на границе точки с частотой $f_{гр}$ замыкает кривую и образует теоретическую кривую звукоизоляции r.

3. **Звукоизоляция от воздушного шума двухслойной конструкции.** *Определение*. Конструкция является акустически двухслойной, если обе оболочки конструкции при возбуждении звука колеблются независимо одна от другой и связаны между собой лишь воздушной прослойкой или изоляционными материалами незначительной жесткости.

3.1. **Нормальное поперечное сечение.** Любая двухслойная конструкция представляет собой колебательную систему, подчиняющуюся принципу масса — пружина — масса. Массы образуются оболочками стен, пружина — мягкой воздушной прослойкой или мягким изоляционным материалом. Исследование такой стены в различных возбужденных состояниях (полосах частот) предполагает установление характера ее поведения относительно звукоизоляции в четырех различных ситуациях: полоса частот перед входом в резонанс; зона резонансной частоты; полоса частот после резонанса; зона частот стоячих волн.

Звукоизолирующая способность двухслойной конструкции существенно изменяется в каждой из четырех упомянутых областей частоты. В первой зоне двухслойная стена ведет себя как равная ей по массе однослойная, т. е. подчиняется закону массы Бергера.

При резонансе высокое энерговосприятие и проницаемость теоретически снижают звукоизоляцию стены до нуля. Фактическая глубина и ширина провала зависят от внутренних амортизирующих свойств стенового строительного материала и лишь с большим трудом могут быть определены заранее. В практике глубина провала в 10 дБ и шириной в 2 октавы являются достаточно точным.

Резонансная частота достигается в зависимости от жесткости пружины, которая определяется динамическим модулем упругости E ($10^5 \cdot$ Н/м²) воздушной прослойки, толщиной слоя d_a (см) и массой единицы поверхности M (кг/м²) отдельных оболочек:

$$f_0 = 500 \sqrt{\frac{E_{\text{дин}}}{d_a}\left(\frac{1}{M_1}+\frac{1}{M_2}\right)}, \text{ Гц.} \qquad (105)$$

Так как этот эффект двухслойности проявляется лишь после резонансной частоты, речь идет о том, чтобы сделать последнюю максимально низкой. Однако в каждом случае необходимо иметь ее вне строительно-акустической области измерений. Влияние резонансной частоты, как можно видеть из рисунков, определяется четырьмя переменными величинами формулы (106).

Резонансная частота является наиболее низкой, когда при постоянной общей массе обе оболочки одинаково тяжелы. Очевидно также, что, начиная с соотношения масс 1 : 2, положительного эффекта достичь нельзя (рис. 127, *а*).

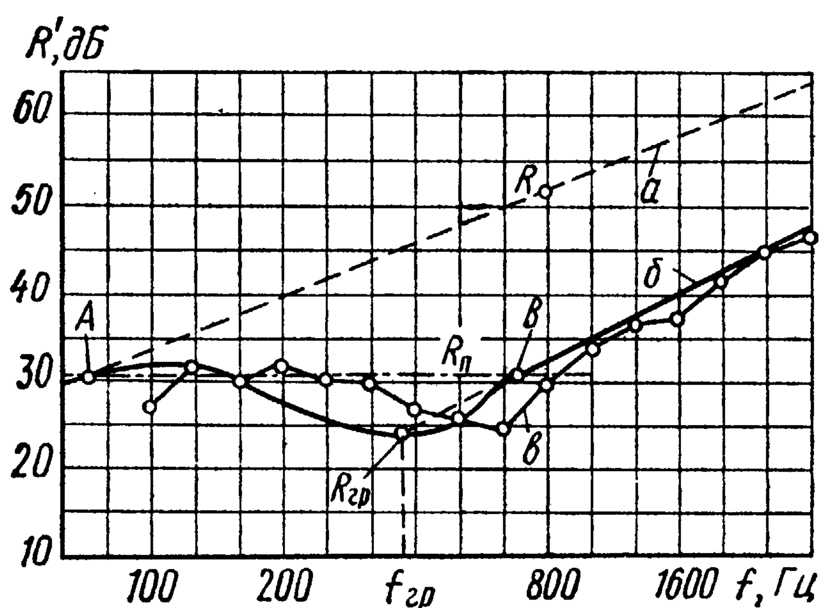


Рис. 126. Теоретические кривые звукоизоляции однослойной конструкции (на примере гипсовой стены толщиной 70 мм)

g — кривая измерения звукоизоляции одинаковых стен

Аналогичный вывод может быть сделан из диаграммы 127, *б*, из которой видно, что повышение общей массы может оказать ощутимое влияние на резонансную частоту лишь до пятикратного ее значения по отношению к начальной массе. Начиная с этого значения, звукоизоляция определяется общей

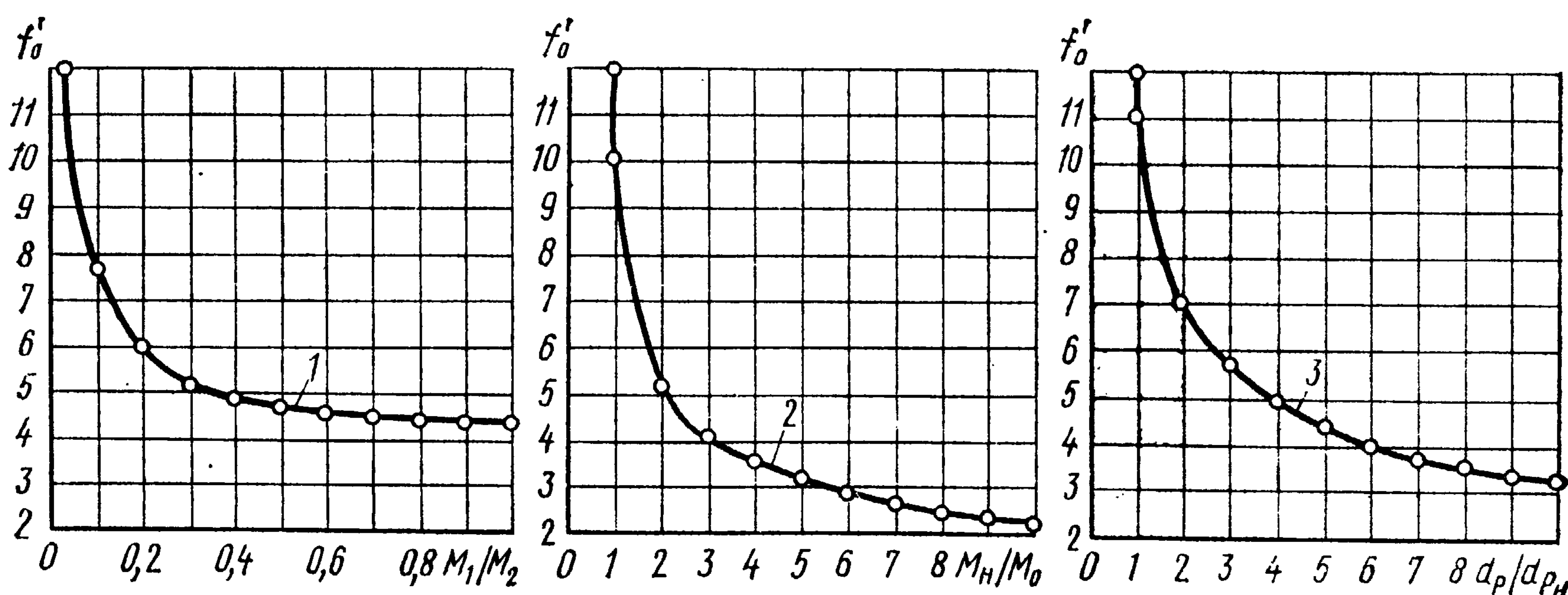


Рис. 127. Зависимость резонансной частоты от массы единицы площади оболочки и расстояния между массами. Переменный фактор f_0'

1 — при постоянных жесткости промежуточного слоя и общей массе площади поверхности, но переменном отношении масс M_1/M_2 отдельных оболочек; *2* — при постоянных жесткости промежуточного слоя и отношении масс, но переменном отношении общей массы $M_н$ к начальной массе M_0; *3* — при постоянных общей массе и отношении масс отдельных слоев, но переменном расстоянии между слоями d_p по отношению к начальному расстоянию $d_{p_н}$

массой по закону массы, а не вследствие эффекта двухслойности. Несколько более равномерной, но подобной по характеру, является кривая на рис. 127, *в*, которая показывает, что увеличение расстояния между оболочками может сколько-нибудь существенно влиять на резонансную частоту лишь до его 8-кратного значения по отношению к начальному. Такое же заключение может быть сделано относительно зависимости от динамической жесткости S', так как она обратно пропорциональна расстоянию между оболочками.

После достижения системой резонанса обе оболочки действуют в несвязанном состоянии как две независимые стеновые конструкции. Таким образом, дважды действует закон массы. Поэтому после резонансного провала прямая звукоизоляции повышается на 12 дБ на каждую октаву. Хорошая изолирующая способность двухслойных стен, несмотря на их относительно небольшую общую массу, основывается именно на этом принципе. На рис. 128 видно преимущество звукоизоляции, двухслойной стены по сравнению с равной с ней по массе однослойной стены.

Следует указать на то, что обе оболочки подвергаются действию совпадений (или наложения волны), которые должны были бы вызывать особенно большое снижение уровня прямой звукоизоляции, повышающейся

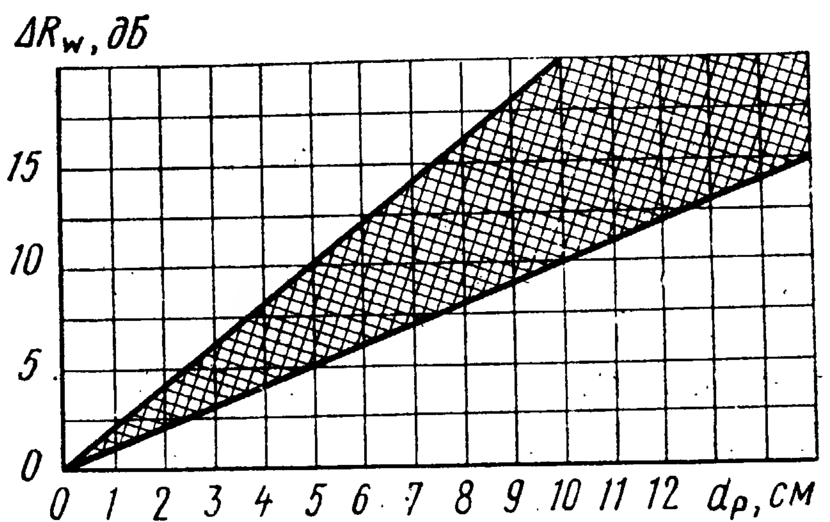


Рис. 128. Прирост звукоизоляции за счет двухслойной конструкции. Увеличение степени звукоизоляции ΔR_w с повышением расстояния между слоями d_p двухслойной конструкции по сравнению с однослойной конструкцией одинаковой массы [13]

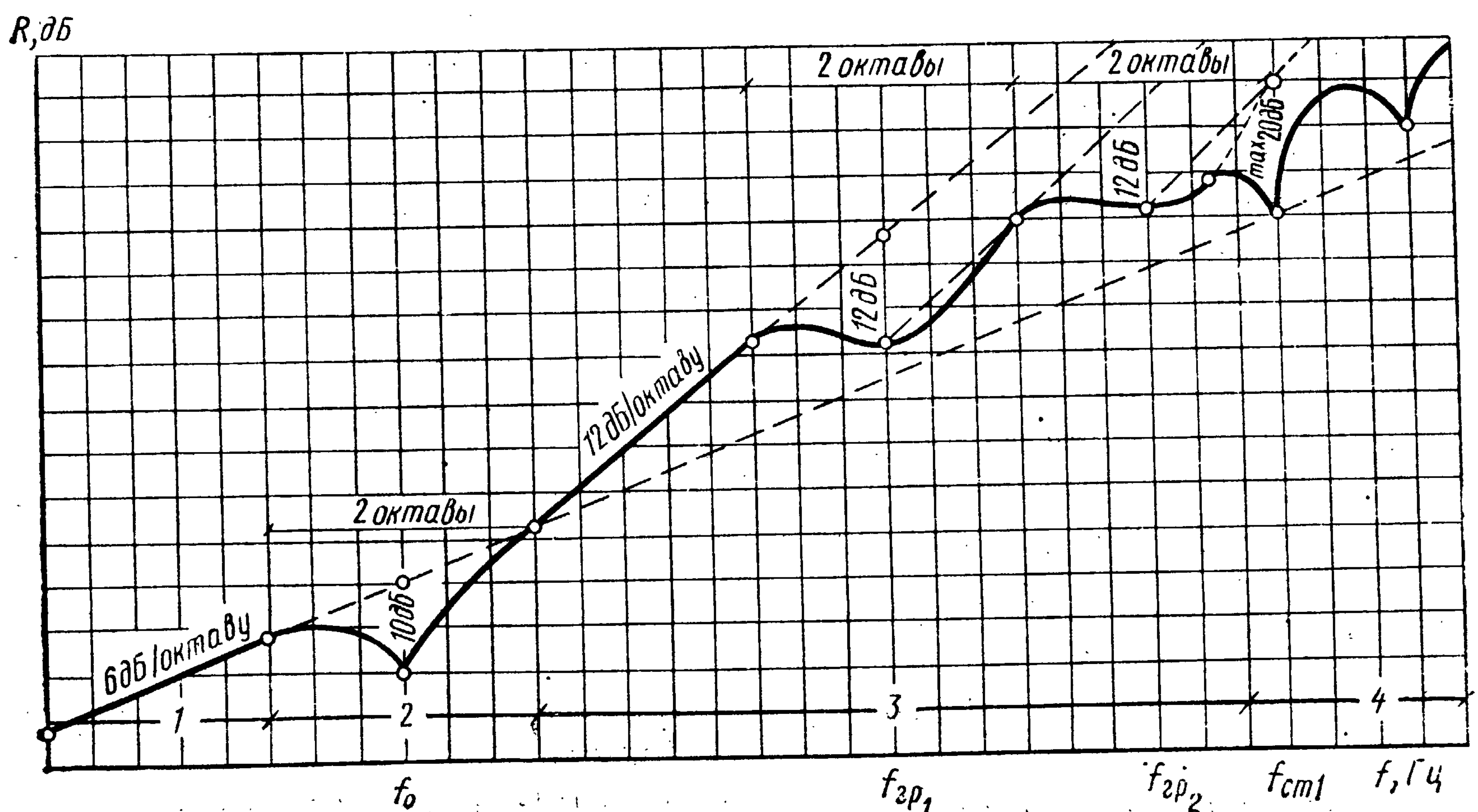


Рис. 129. Теоретические кривые звукоизоляции двухслойной конструкции

1—4 — сопряженные области; f_0 — резонансная частота; $f_{гр1,2}$ — предельные частоты совпадения обоих слоев; $f_{ст1}$ — частота первой стоячей волны

на 12 дБ на каждую октаву (рис. 129). Поэтому такого наслоения следует избегать.

При теоретическом определении кривой звукоизоляции величину провалов при каждом наложении можно принимать равной 12 дБ при ширине 2 октавы. Если граничные частоты наложений совпадают, провал соответственно больше.

При возникновении стоячих волн в промежутке между оболочками следует считаться (вследствие совпадения) с провалами на прямых звукоизоляции, которые теоретически соответствуют прямым звукоизоляции однослойных стен равной массы. Преобразуя уравнение (65), через расстояние между оболочками d_a (см) и скорость звука c (см/с) можно выразить первую частоту $f_{ст_1}$, при которой возникают стоячие волны:

$$f_{ст_1} = \frac{c}{2d_a} = \frac{1700}{d_a}, \text{ Гц.} \tag{106}$$

Для практического применения следует принимать глубину провалов, равной в каждом случае 20 дБ, однако не ниже прямой a. Провал повторяется при каждом целом кратном значении $f_{ст_1}$.

Из приведенных расчетных предпосылок и принятых ориентировочных значений величин можно построить кривую звукоизоляции двухслойной конструкции. Однако ожидаемое значение результата в некоторых зонах может колебаться и носить только качественный характер. При этом имеется объяснение провалов и их положения в примерном очертании кривой в диаграмме звукоизоляции, которая представляет собой необходимое вспомогательное средство для проектирования звукоизоляции (см. рис. 129).

3.2. **Влияние акустических мостиков.** Эффективность двухслойной конструкции часто снижают акустические мостики. Последние образуются благодаря жесткому соединению стеновых оболочек с несущей конструкцией или защемлению их по краям. Звукоизоляция также ухудшается, если увеличивается площадь контакта на месте акустического мостика. При этом влияние последних сильнее при жестких на изгиб двойных стенах по сравнению с конструкциями, имеющими один тяжелый слой и гибкую приставную оболочку. Воздействие акустических мостиков может быть настолько большим, что звукоизолирующая способность двойной стены станет хуже, чем равной по массе однослойной стены.

Возрастание звукоизоляции ΔR за счет связанной акустическими мостами гибкой оболочки на относе по сравнению с равной по массе однослойной стеной может быть вычислено по формулам (107) — (109) [187]:

$$\Delta R = 10 \lg \frac{1}{f_0^4 : f^4 + n\sigma}, \tag{107}$$

где f_0 — резонансная частота [по формуле (106.1)]; σ — коэффициент излучения; n — число акустических мостиков.

Коэффициент излучения σ зависит от гибкости оболочки стены и при точечных акустических мостиках в зависимости от площади

приставной оболочки S и ее граничной частоты совпадения $f_{гр}$ составляет:

$$\sigma = \frac{8}{\pi^2} \frac{c^2}{f_{гр}^2 S}. \qquad (108)$$

Аналогично для акустических мостиков линейной формы

$$\sigma = \frac{2}{\pi} \frac{c}{f_{гр} l}, \qquad (109)$$

где l — длина оболочки, перпендикулярная линии акустического мостика.

Влияние неизбежно возникающих в краевых закреплениях акустических мостиков трудно предвидеть. Упругое примыкание перегородки к торцовым конструкциям предотвращает попадание содержащейся в стене энергии корпусного шума в боковые конструкции и приводит к усиленному излучению ее в помещение. При этом стены с двумя легкими жесткими на изгиб плитами излучают интенсивнее, чем стены с тяжелыми жесткими плитами или конструкции с гибкими приставными оболочками, упругое примыкание которых приводит, кроме того, к улучшению звукоизолирующей способности. Рис. 130 показывает эффект по звукоизоляции, получаемый за счет гибкой приставной оболочки. Из рисунка видно, что благодаря точечному прикреплению оболочки ее действие дополнительно повышается.

4. Звукоизоляция от воздушного шума многослойной конструкции. Звукоизолирующее действие многослойной конструкции проявляется подобно действию двухслойной. Резонанс вследствие взаимодействия пружины и массы возникает при этом каждый раз между соседними оболочками; аналогичное положение относится к возникновению стоячих волн. Следует также обратить внимание на наложение волн, которое имеет значение для всех слоев.

Вследствие многообразных провалов и влияния различных факторов многослойные конструкции не всегда обладают лучшей звукоизоляцией, чем двухслойные. Напротив, звукоизолирующая способность двухслойной стены по сравнению с равной по толщине и массе многослойной конструкцией, безусловно, лучше вследствие большего расстояния между оболочками, что приводит к более низкой резонансной частоте.

Отсюда следует, что многослойная стена обладает хорошей звукоизоляцией в том случае, когда резонансная частота каждого слоя лежит как можно ниже. В этом случае при равной толщине показатели двухслойной стены будут хуже. Кроме того, вследствие значительного расстояния между слоями в двухслойной конструкции действие стоячих волн приводит к отрицательным эффектам.

Приведенные рассуждения позволяют сделать вывод, что в реальных условиях (обычные толщины стен и их масса) двухслойные конструкции обеспечивают лучшую звукоизоляцию, чем многослойные.

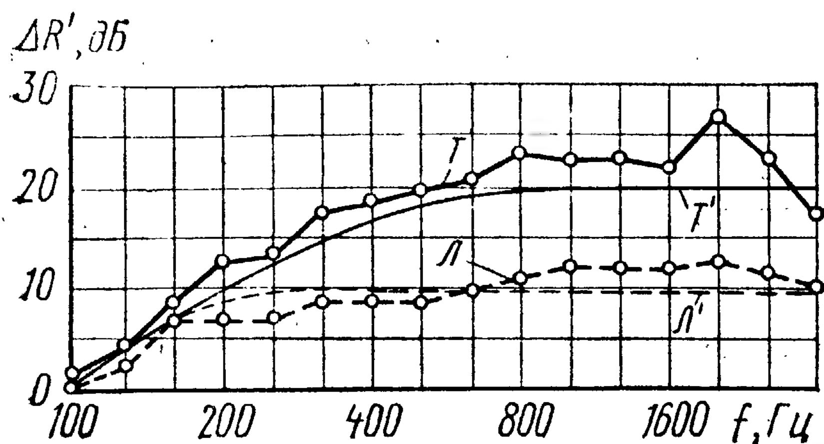


Рис. 130. Влияние способа крепления гибкой приставной оболочки на звукоизолирующую способность. Увеличение звукоизолирующей способности $\Delta R'$ стены путем установки гипсокартонной обшивки толщиной 10 мм [187]

Т — точечное крепление (Т' — расчетное); Л — линейное крепление (Л' — расчетное)

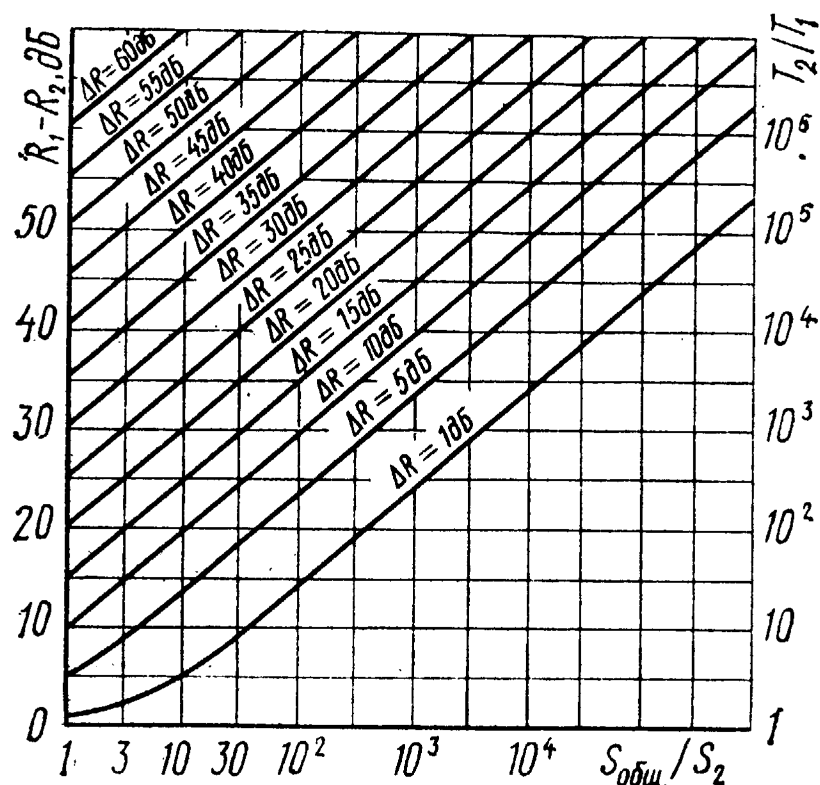


Рис. 131. Уменьшение значения звукоизоляции ΔR при наличии отверстий или поверхности площадью S_2 меньшей звукоизоляции [15]

$R_1(\tau_1)$ — звукоизоляция (коэффициент пропускания) конструкции без отверстия; $R_2(\tau_2)$ — звукоизоляция (коэффициент пропускания) конструкции с отверстием или плохо изолированным участком конструкции площадью S_2; $S_{общ}$ — площадь конструкции, включая S_2

5. Влияние швов и отверстий. При рассмотрении звукоизолирующей способности конструкции необходимо учитывать возможные неплотности и щели, вызывающие снижение звукоизоляции. При этом необходимо различать непредвиденный перенос звука через отверстия в виде дыр и щелей и передачу звуковой энергии через окна и двери и связанное с этим изменение звукоизоляции всей стены.

5.1. Влияние окон и дверей. В акустическом отношении окна и двери ослабляют звукоизоляцию стены. Они подчиняются тем же закономерностям, что и стены, но из-за своей небольшой массы создают лишь незначительную защиту от воздушного шума. Их влияние на величину общей звукоизоляции стены представлено на рис. 131.

При исследовании звукоизоляции окон следует раздельно рассматривать передачу звука через стекла, рамы, а также щели. Основная часть звуковой энергии передается через оконные стекла. При этом кроме небольшой массы единицы поверхности их низкая звукоизолирующая способность является следствием совпадения частот колебаний гибких стекол, граничная частота совпадений которых при обычной толщине стекла лежит между 1500 и 4000 Гц. Обычно для рассмотрения совпадений статистически распределенное падение звука принимается за диффузное звуковое поле. Однако для оконных стекол падение звука происходит в большинстве случаев из определенного источника. Поэтому следует учитывать, что эффект совпадения является наибольшим, если звук падает на стекло под углом 75°. Провал является тогда самым большим (рис. 132). Так как измерения звукоизоляции оконных стекол производятся в диффузном звуковом поле или при падении звука под углом 45°, следует учитывать, что расчетная звукоизоляция стекол, вставленных в оконные рамы, при описанных условиях приблизительно на 5 дБ ниже измеренной.

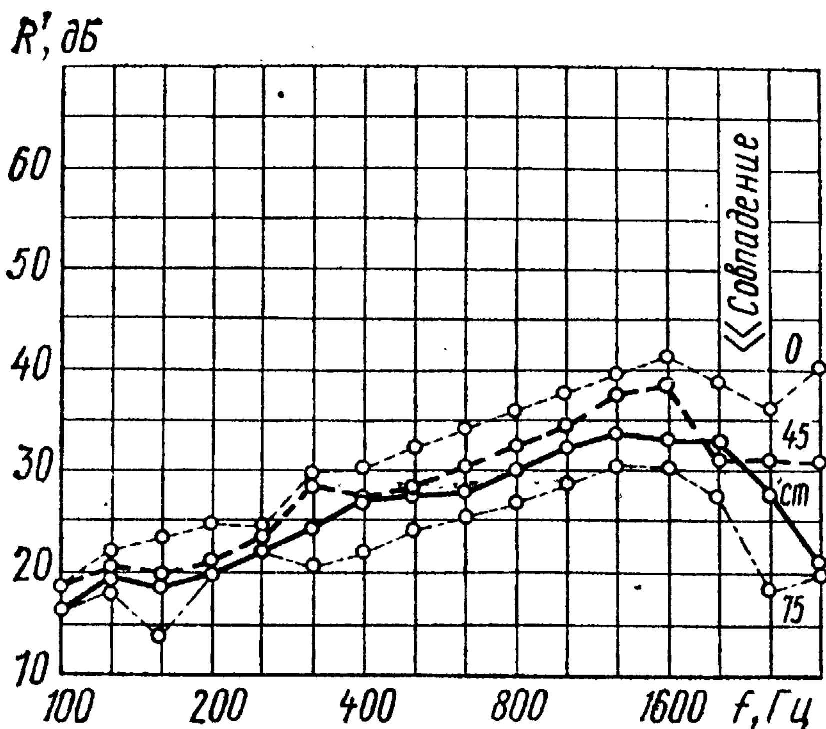


Рис. 132. Звукоизоляция при направленном падении звука. Звукоизолирующая способность стекла толщиной 3,8 мм для различных направлений падения звука [106]. Углы измеряются от направления, перпендикулярного стеклу

ст — статистическое направление звука; $\overline{R}'_{0°}=32$ дБ; $\overline{R}'_{45°}=29$ дБ, $\overline{R}'_{75°}=24$ дБ; $\overline{R}_{ст}=28$ дБ

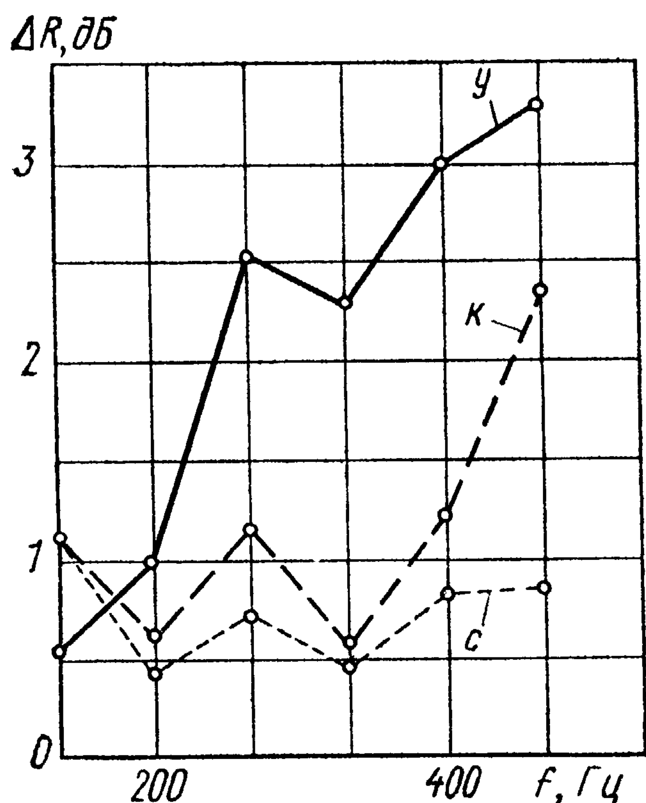


Рис. 134. Перенос звука через отверстия в углах и краях. Уменьшение звукоизоляции ΔR стены из пористого гипса толщиной 12 см при наличии четырех отверстий радиусом 3 см [115]

у — в углах помещения; к — по краю стен; с — в середине стены

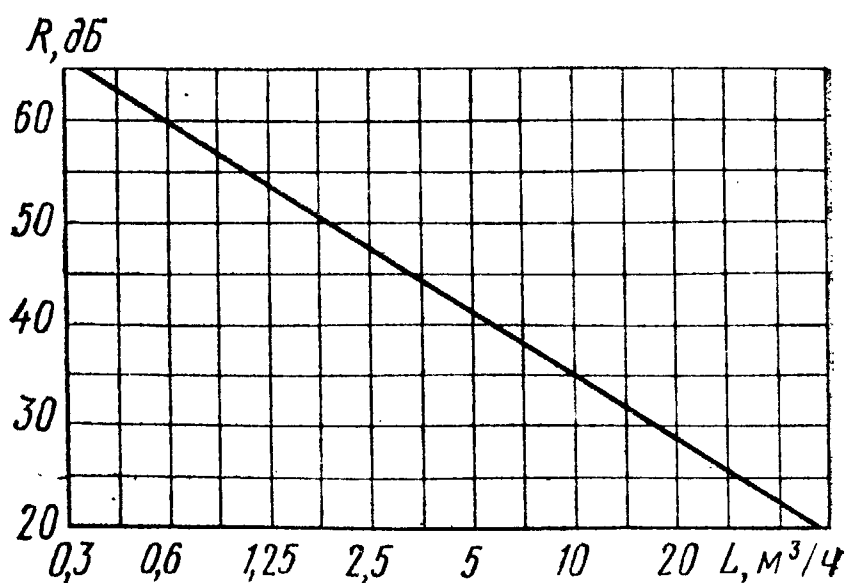


Рис. 133. Звукоизоляция стыков R в зависимости от их воздухопроницаемости L [233]

Для переноса звука через оконные рамы требуется, чтобы их звукоизоляция была такой же, как стекол, причем из-за относительно небольшой поверхности рам величина звукоизоляции стекол не всегда достигается.

Звукоперенос через щели (швы) окна представлен на рис. 133.

Из рисунка видно, что передача звука прямо пропорциональна воздухопроницаемости швов. При этом величина звукоизоляции последних должна удовлетворять таким же требованиям, как и рамы.

Звукоизоляция дверей подчиняется тем же теоретическим положениям, которые были установлены для окон и легких конструкций.

5.2. Влияние стыков. Неплотные стыки и отверстия являются нежелательными при практическом возведении конструкций. Особенно значительные проблемы возникают в связи с этим при использовании сборных элементов легких конструкций.

Однако в отдельных случаях неплотности в конструкциях неизбежны, например вентиляционные отверстия. Для правильного проектирования последних необходимо установить некоторые основные положения.

Ухудшение звукоизоляции из-за отверстий является зависимой от частоты величиной. Это объясняется зависимостью длин волн про-

никающего звука от величины отверстий. Оказывается, что переход звука через малые отверстия ощущается лишь в зоне высоких частот и с увеличением отверстия вместе с повышением общего переноса звука возрастает перенос низкочастотных звуковых волн. Кроме того, щели между плоскостями ограждений при равной площади вызывают большее нарушение звукоизоляции, чем круглые отверстия. Ухудшение изолирующей способности стены можно определить через отношение ее коэффициента пропускания с использованием диаграммы на рис. 131. В заключение следует отметить, что благодаря возникающему повышению уровня коэффициенты пропускания отверстий вблизи ребер и углов помещения увеличиваются с повышением частоты звука (рис. 134). В этой связи следует указать также на перенос звука через шахты и каналы.

УКАЗАНИЯ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ

Конструктивная защита от шума должна предусматриваться архитектурно-планировочным решением, которое влияет не только на звукоизоляцию от воздушного шума, но равным образом определяет защиту от корпусного шума. Этот вопрос обсуждается здесь в связи с тем, что звукоизоляция от воздушного шума касается большинства конструкций и тем самым большинства стоящих перед проектировщиком проблем.

1. **Архитектурно-планировочное решение** плана здания влечет за собой соответствующие затраты на конструктивные мероприятия по звукоизоляции. Чем разнообразнее звуковая нагрузка и интенсивность звукового давления соседних помещений, тем дороже обходятся мероприятия, необходимые для обеспечения звукоизоляции. Это ведет к делению помещений на громкие и тихие и к их группировке по принципу аналогичных областей использования или, в более широких пределах, принадлежащих к определенной зоне использования. Кроме того, предлагается ориентация помещений с учетом уровней наружного шума. Например, расположение спален на тихой дворовой стороне дома избавляет от применения дорогих оконных конструкций. Эти требования формулируются прежде всего с точки зрения звукоизоляции. При этом разумеется, что все эксплуатационные, функциональные и экономические требования следует вначале устанавливать отдельно, чтобы, взвесив все возможности и ограничения, выработать оптимальный вариант. Ниже описаны возможности выполнения рекомендаций для звукоизоляции конструкций, которые, несмотря на неблагоприятные исходные позиции, даны с учетом других важных аспектов.

2. **Однослойные стены.** Вследствие зависимости звукоизоляции от массы единицы поверхности и расположения провала от совпадения однослойные стены следует выполнять максимально тяжелыми и толстыми. Пределы звукоизоляции определяются большой массой поверхности.

При тяжелых, достаточно жестких на изгиб стеновых конструкциях при массе единицы поверхности между 350 и 400 кг/м^2 расчетная величина звукоизоляции достигает 52 дБ (см. рис. 182).

С помощью легких, жестких на изгиб стен, выполненных из сплошных гипсовых или пемзобетонных плит, вследствие неблагоприятной частоты совпадения этих конструкций и небольшого веса, расчетная величина звукоизоляции может достигать 30—40 дБ (см. рис. 186). Неэффективную звукоизоляцию, несмотря на небольшую излучающую способность, имеют легкие гибкие оболочки (см. рис. 187). Несмотря на то что частота совпадения лежит в основном выше или ниже 3200 Гц, из-за незначительных толщин оболочек и определяемой этим небольшой массы поверхности величина звукоизоляции достигает лишь 15—25 дБ. Звукоизоляция листового железа незначительно повышается при нанесении на него снижающих шум покрытий.

Используя особые конструктивные мероприятия, можно повысить звукоизоляцию легких конструкций. Эти методы включают, во-первых, уменьшение изгибной жесткости при сохранении удельной массы единицы поверхности. Правда, подобные действия представляют интерес лишь в исключительных случаях. Благодаря устройству насечки или прорезей в легких плитах из клееной фанеры можно достичь сдвига граничной частоты совпадения вверх, в результате чего звукоизоляция повысится на 5 дБ. Повышение звукоизоляции методом заполнения песком круглых отверстий древесностружечных плит или сотовых элементов наряду с увеличением массы поверхности и приводит к уменьшению глубины провала при совпадении (рис.135).

Особое место занимают легкие многослойные конструкции. Они состоят, как правило, из тонких облицовочных слоев из пластмассы или древесных материалов, между которыми находится пенопласт или сотовые элементы. Благодаря своей устойчивости при небольшой массе они представляют интерес, например, для трансформируемых конструкций перегородок. Из-за возникновения провалов от резонансов и совпадений в области измерений, принятой в строительной акустике, их звукоизолирующая способность является достаточно низкой: величина звукоизоляции колеблется между 10 и 30 дБ. При последовательном использовании основных теоретических положений удается путем уменьшения толщины оболочки и направленного повышения динамической жесткости несущего ядра достичь смещения граничных частот как резонанса, так и совпадения в зону, расположенную выше области, представляющей интерес для строительной акустики, и, несмотря на небольшие массу и размеры конструкций, достичь высокой звукоизолирующей способности.

Если слои многослойной плиты непрочно связаны между собой и при изгибающей нагрузке могут сдвигаться один относительно другого, то на положение частоты совпадения это действует благоприятно. Это происходит потому, что, несмот-

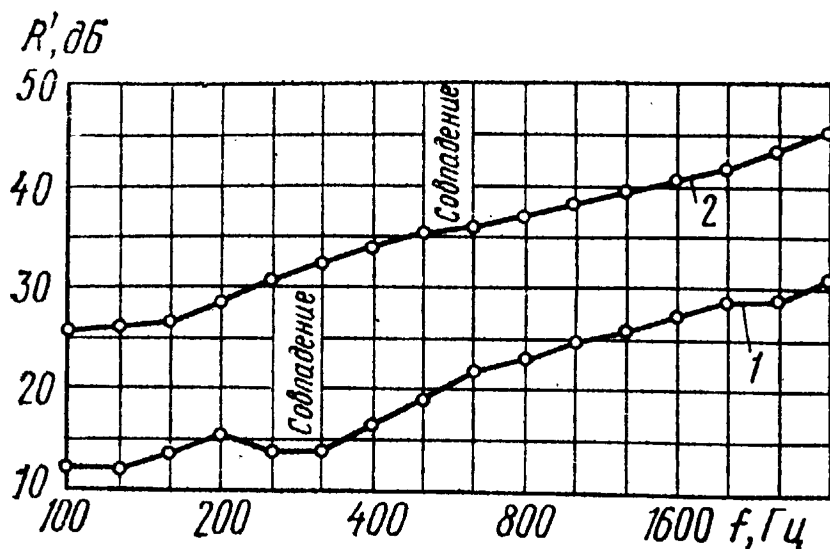


Рис. 135. Звукоизоляция заполненной песком конструкции [152]

1 — кривая звукоизоляции плиты с сотовым сердечником и двухсторонней облицовкой гипсом толщиной 7 мм ($d_{общ}$=5,4 см, масса 1 м² М=20 кг, $\overline{R}'$=22 дБ); *2* — та же плита, заполненная песком (масса 1м² М=65 кг, небольшое снижение звукоизоляции при совпадении, $\overline{R}'$=35 дБ)

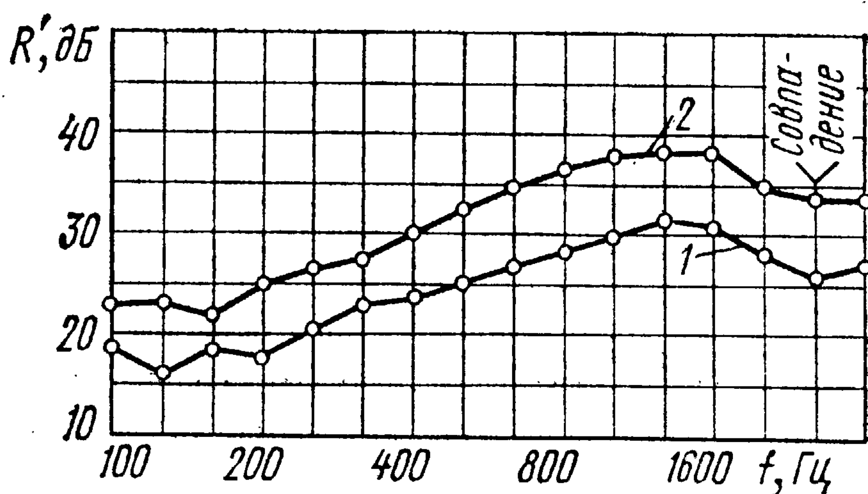


Рис. 136. Звукоизоляция слоистой конструкции [10]

1 — однослойной гипсокартонной плиты массой 1 м² М=12 кг, $\overline{R}'$=24 дБ; *2* — двухслойной стены (гипсокартонные плиты 2×13 мм, соединенные только по краям) массой 24 кг, $\overline{R}'$=30 дБ

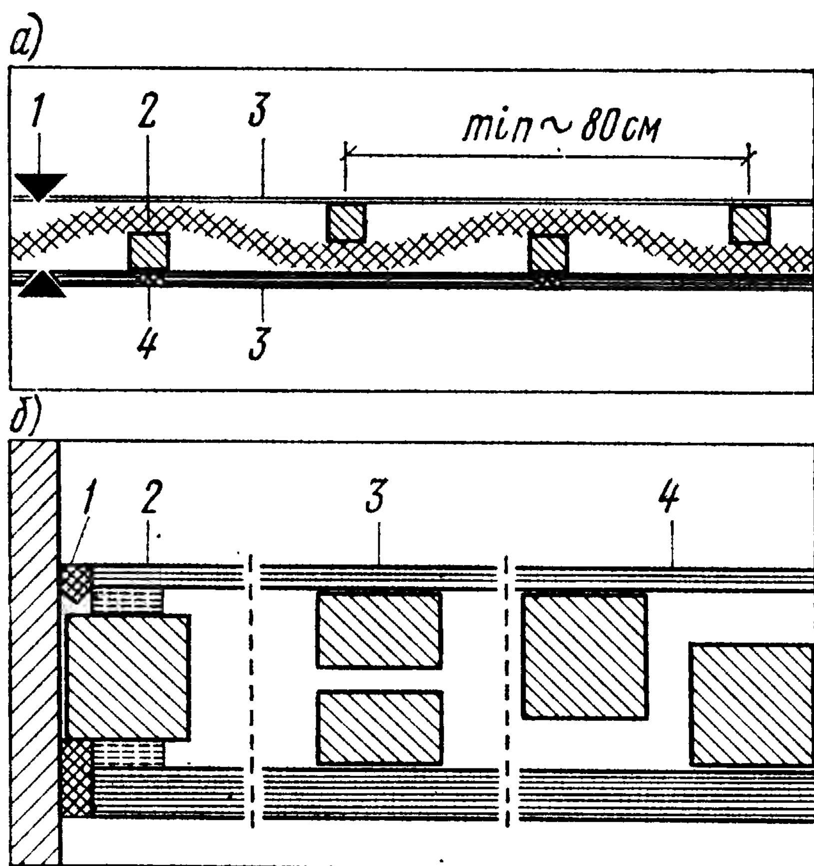


Рис. 137. Принципиальные конструктивные рекомендации для устройства двухслойной стены

а — нормальное поперечное сечение: *1* — расстояние между обшивками должно быть как можно больше; *2* — пористого материала (лучше всего подвешенного в промежутке) должно быть как можно больше; *3* — толщина обшивок должна быть разной; *4* — швы следует уплотнять; *б* — крепление оболочек: *1* — примыкание уплотнять эластичными материалами; *2* — обшивки крепить к каркасу по краям, используя в отдельных местах мягковолокнистые прокладки; *3* — стойки разделять или смещать (*4*)

ря на увеличение толщины плиты, частота совпадения остается неизменной, так как изгибающая способность плиты почти не изменяется. Если нет необходимости учитывать отрицательный эффект от сдвига частоты совпадения, увеличение массы поверхности благоприятно влияет на звукоизоляцию (рис. 136).

3. Двухслойные стены. Высокая величина звукоизоляции с соответствующей массой поверхности и толщиной стены может быть достигнута при использовании духслойных конструкций. Чтобы двухслойность конструкции давала максимальный эффект, следует обратить внимание на следующее.

Звукоизоляция двухслойных стен повышается с увеличением массы поверхности, расстояния между оболочками и уменьшением жесткости промежуточного слоя.

Наименьшую упругость имеет воздух с динамическим модулем упругости E порядка $1{,}2 \cdot 10^5$ Н/м². При конструкциях с заполненной сердцевиной следует обратить внимание на укрепление стеновых оболочек на раздельных стойках. Если это требование не может быть выполнено, оболочки должны быть отделены от стоек мяг-

кими прослойками. Точечное крепление к стойкам предпочтительнее линейного. Расстояние между стойками не должно быть менее 80 см.

Для конструкций, состоящих из двух слоев, боковые примыкания рекомендуется выполнять нежесткими (рис. 137). Исключение составляют стены, состоящие из двух легких гибких оболочек.

Особенно упруго должны быть связаны с боковыми конструкциями гибкие приставные облицовки. Чтобы провалы от совпадений обеих отдельных оболочек не совпадали, рекомендуется применять оболочки из различных материалов или с разными толщинами. При этом отношение толщин должно быть порядка 1:2.

Особые возможности повысить изгибную жесткость тонких плит и одновременно сохранить их массу уже обсуждались.

В случаях, когда промежуточный слой не используется для обеспечения устойчивости, его следует выполнять по возможности из пористого поглощающего материала, чтобы сделать как можно меньшим отрицательное влияние стоячих волн. Поглощающий материал препятствует также боковому распространению воздушного шума в промежутке между оболочками, вследствие чего звукоизоляция ухудшается приблизительно на 5 дБ. Следует обратить внимание на то, чтобы упругость изоляционного материала не повышалась вследствие совместного прессования. Поэтому изоляционный материал рекомендуется по возможности свободно подвешивать между оболочками. При конструкциях с одной или двумя жесткими на изгиб оболочками пористый материал может быть закреплен также на одной или двух жестких оболочках. Напротив, закрепление изоляционного материала на гибкой оболочке привело бы к ее ужесточению и вернуло бы провал от совпадения в область, важную с точки зрения строительной акустики.

Наилучшие результаты по звукоизоляции достигаются при применении двух тяжелых, жестких на изгиб стеновых оболочек. Однако предпосылкой этого является тщательное предотвращение образования акустических мостиков между оболочками. Так, разделительные швы между стеновыми оболочками должны быть свободны от раствора, упавших кусков камней. Для этого применяются либо шаблоны для устройства швов, либо промежуток заполняется одним лишь мягким материалом (например, минеральной ватой). Даже при незначительном числе акустических мостиков звукоизляция такого ограждения может настолько ухудшится, что станет ниже звукоизоляции однослойной стены с такой же массой.

Чтобы двухслойная стена была оптимально эффективна, разделительный шов между оболочками должен проходить сквозь все зоны перекрытий. Представленная на рис. 138 конструкция перекрытия обеспечивает повышение максимально достижимой звукоизоляции на 10 дБ. При этом можно устранить разделение фундамента и оболочек кровли.

Звукоизоляция стен, состоящих из двух легких жестких на изгиб оболочек, существенно зависит от наложения провалов, возни-

кающих в результате совпадений. Этот недостаток может быть компенсирован соответствующим увеличением расстояния между оболочками, которое, исходя из минимального требования DIN 4109, должно составлять приблизительно 10 см. Поэтому увеличение массы оболочек нельзя рассматривать как средство повышения звукоизоляции, поскольку их общая масса таким образом может приблизиться к массе однослойных стен равной звукоизолирующей способности.

При таком типе стен наиболее эффективным является применение оболочек разных толщин. Дополнительно следует еще раз указать на возможность заполнения пустот песком.

Достигаемая таким путем расчетная величина звукоизоляции R_w составляет от 44 до 55 дБ (см. рис. 189).

Стены, состоящие из двух гибких, легких оболочек, имеют хорошую звукоизолирующую способность, однако их небольшая масса приводит к тому, что приходится делать большие расстояния между оболочками (10—25 см). Для таких стен, как правило, необходимы опорные конструкции, поэтому важно, чтобы стойки каркаса устраивались раздельно, а возникающее благодаря каркасу ожесточение плит было по возможности минимальным. Вследствие этого расстояние между стойками должно быть не менее 80 см. Точечное крепление предпочтительнее линейного. Если для повышения массы применяемые плиты устанавливаются в два слоя, то они должны иметь возможность перемещаться друг относительно друга. Большие промежутки между оболочками должны быть заполнены пористыми звукопоглощающими материалами, которые по возможности следует укреплять между стойками. Следует отказаться от использования оштукатуренных легких древесностружечных плит из-за пористости их сторон, обращенных к промежутку между оболочками. С учетом всех обстоятельств с помощью конструкций, состоящих из гибких оболочек, можно достичь расчетной величины звукоизоляции порядка 55 дБ (см. рис. 190).

Путем устройства гибких приставных облицовок перед тяжелыми, жесткими стенами можно достичь увеличения величины звукоизоляции однослойных тяжелых стен от 5 до 15 дБ. При этом, вследствие относительно большой подверженности фланговому переносу звука, оказывается, что определенные предельные значения невозможно превысить, если одновременно не улучшается звукоизоляция от флангового переноса звука. По этой причине стены с небольшой звукоизолирующей способностью также целесообразно улучшать гибкими приставными облицовками.

Из-за небольших в общем случае расстояний и массы поверхности приставных облицовок (например, легких древесностружечных плит на деревянной обрешетке) их резонансная частота составляет примерно 100—200 Гц.

Поэтому хороших результатов можно ожидать лишь в области высоких частот.

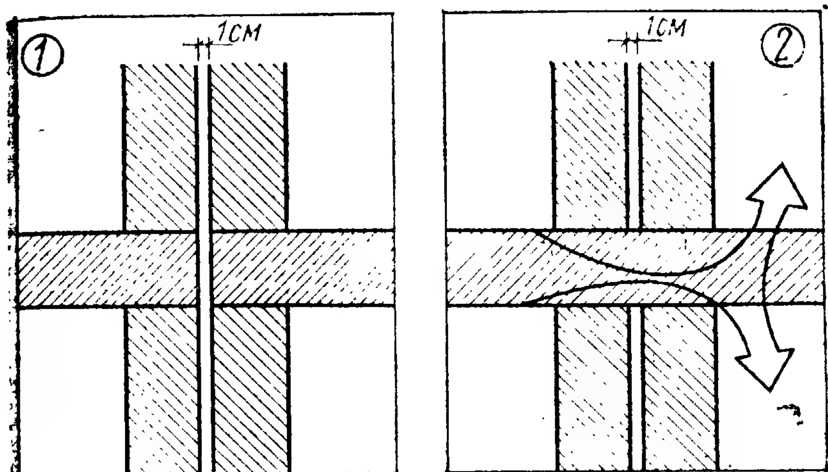


Рис. 138. Звукоизоляция жестких на изгиб стен при массе 1 м² оболочки 200 кг

1 — R'_w =67 дБ; 2 — R'_w =57 дБ

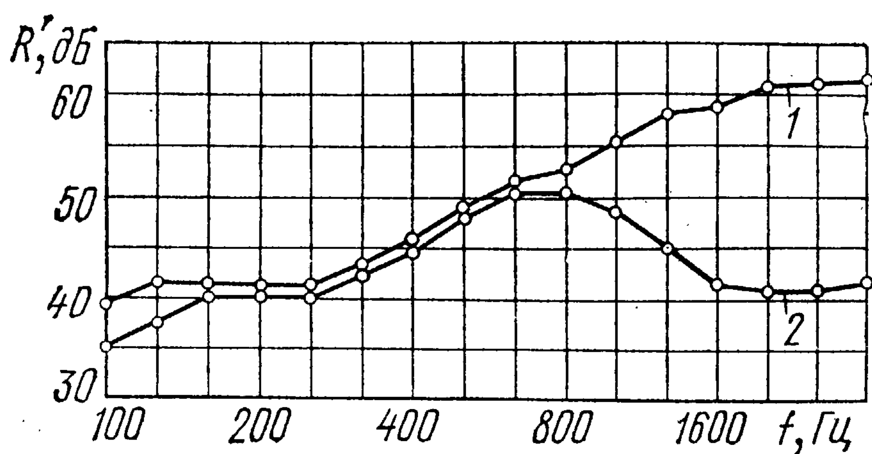


Рис. 139. Влияние прикрепляемых и оштукатуриваемых легких древесноволокнистых плит на звукоизоляцию [43]

1 — конструктивная звукоизоляция R' железобетонной плиты толщиной 12,5 см; 2 — то же, при креплении к ней с обеих сторон легких древесноволокнистых плит толщиной 2,5 см со слоем штукатурки толщиной 1,5 см

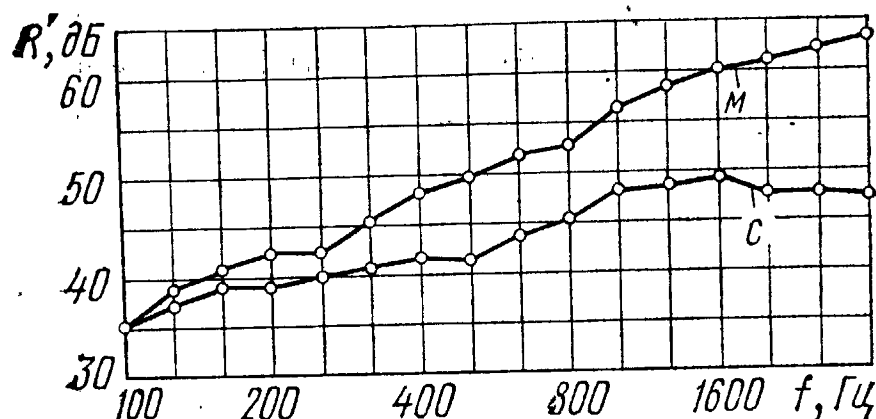


Рис. 140. Влияние сухой штукатурки на звукоизоляцию стены из силикатного бетона толщиной 24 см [14]

М — мокрая штукатурка; С — сухая штукатурка (гипсокартонные плиты со сложным раствором)

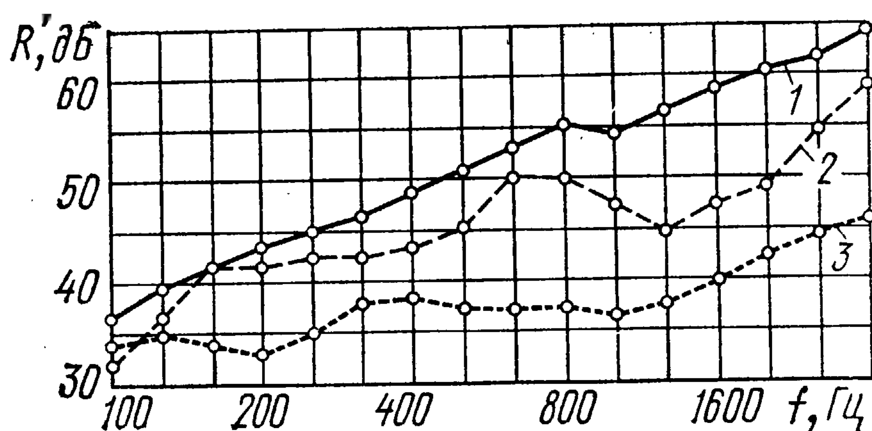


Рис. 141. Влияние пор и швов на звукоизоляцию стены из тяжелого бетона толщиной 19 см [10]

1 — плотная структура с закрытыми порами (оштукатуренная поверхность) и закрытыми швами, R'_w =54 дБ; 2 — плотная структура с закрытыми порами, но открытыми швами, R'_w =49 дБ; 3 — с открытыми порами и швами R'_w =41 дБ

Легкие древесностружечные плиты из-за их открытой пористости следует оштукатуривать. Следует указать на отрицательное действие на звукоизоляцию тяжелой конструкции обетонированных, оштукатуренных легких древесностружечных плит. Благодаря небольшому весу штукатурной оболочки и высокой упругости легких древесностружечных плит создается система масса—пружина—масса, резонансная частота которой располагается в важной с точки зрения строительной акустики зоне, а звукоизоляция, большей частью в области высоких частот, так сильно ухудшается (рис. 139), что становится ниже, чем у однослойной тяжелой конструкции.

4. Швы и отверстия. Все конструкции следует по возможности выполнять плотными, так как даже незначительные неплотности заметно уменьшают звукоизоляцию. Стены из кирпичной кладки следует оштукатуривать или тщательно заполнять швы. При устройстве конструкций, в которых для увеличения площади поверхности оболочка состоит из двух слоев материала, например двухслой-

ной гипсокартонной облицовки, плиты следует укладывать со смещением, чтобы перекрывать швы.

Проблематично в этом смысле применение так называемой сухой штукатурки. Конструкции с таким материалом, прикрепленными в отдельных точках с помощью растворных маяков, уступают аналогичным с обычной штукатуркой (рис. 140, 141). Если через конструкцию должны проходить вентиляционные отверстия, то их рекомендуется удалять от углов помещения не менее чем на 20 см. Круглые или квадратные отверстия в акустическом отношении бесспорно более предпочтительны, чем прямоугольные с большими размерами сторон.

5. Перекрытия. Изоляция перекрытий от воздушного шума подчиняется в принципе тем же закономерностям, которые определены для стен. Поскольку из-за требований по звукоизоляции от ударного шума применяются большей частью двухслойные конструкции, достаточная звукоизоляция от воздушного шума, как правило, обеспечивается. Благодаря требованиям к наружным конструкциям новых DIN 4109 представляет также интерес звукоизолирующая способность кровли от воздушного шума. При этом прежде всего проблематичны легкие холодные кровли и трапециевидные железные крыши.

6. Окна. Одинарные окна из-за незначительной массы своей поверхности оказывают лишь небольшое звукоизолирующее действие. Если увеличить массу поверхности, то неблагоприятное влияние провала от совпадения станет заметным. С помощью одинарных конструкций окон удается достичь звукоизоляции не более 25 дБ, если отказаться от применения стекла толщиной свыше 6 мм (см. рис. 191, *б*).

Благодаря различному действию совпадения [138] в особых случаях—наклону стекла по отношению к главному направлению падения звука звукоизоляция окна может быть повышена на 5 дБ.

Поскольку для наружных конструкций по причинам, связанным с теплозащитой, окна с одинарным остеклением недостаточны, их можно использовать только как внутренние или как фрамуги. Звукоизолирующие наружные окна следует выполнять двойными, и при повышенных требованиях — в виде двух отдельных окон; так, из-за небольшой массы поверхности заметное звукоизолирующее действие может быть достигнуто лишь при увеличении расстояния между оболочками.

Многостекольные теплозащитные окна не дают в акустическом отношении никакого улучшения по сравнению с одинарным остеклением при равной массе поверхности (рис. 142, кривые *1* и *б*). Предложены многостекольные звукоизляционные окна, которые сконструированы в полном соответствии с требованиями звукоизоляции. Относительно большое расстояние между стеклами, тяжелые разной толщины стекла (возможно слоистые), а также краевые уплотнения обеспечивают расчетное значение звукоизоляции около 40 дБ (см. рис. 191, *д*). Благодаря этим особым тяжелым конструк-

циям достигают лучшей звукоизоляции, чем при спаренных оконных переплетах обычного вида, у которых два окна соединены в зоне створчатой рамы. Расчетное значение звукоизоляции этих окон составляет от 25 до 35 дБ (см. рис. 191, *г*).

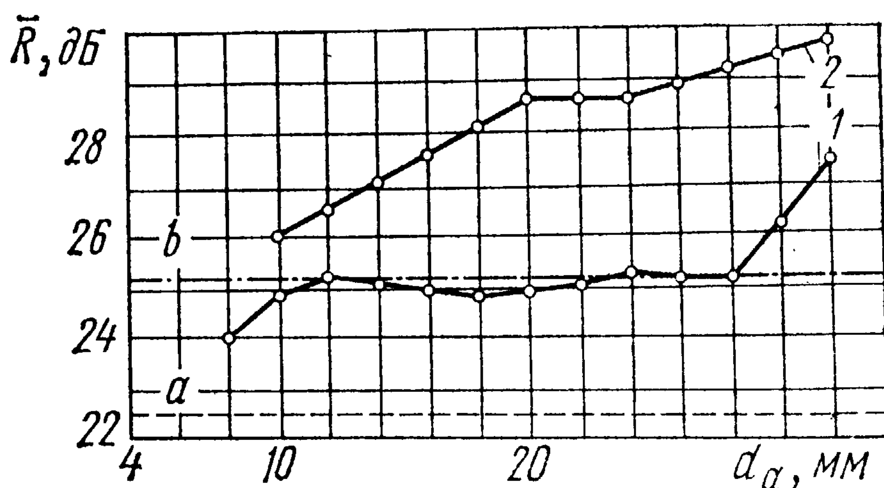


Рис. 142. Средняя величина звукоизоляции R̄ термоостекления в зависимости от расстояния между стеклами

1 — два стекла толщиной по 3 мм; *2* — одно стекло толщиной 3 мм и одно 5,5 мм (простое остекление); *a* — одно стекло толщиной 3 мм (простое остекление); *b* — одно стекло толщиной 5,5 мм (простое остекление)

Наилучших результатов можно достичь, используя коробчатые конструкции окон, если обратить внимание на следующее. Действие стоячих волн и неизбежное поперечное распространение звука в воздушном промежутке следует ограничивать путем применения пористых материалов, которые могут быть установлены лишь в краевых зонах. Эффективность краевой изоляции составляет в среднем до 3 дБ. Расчетные значения звукоизоляции, достигаемые благодаря коробчатым окнам, составляют около 45 дБ (см. рис. 191, *д*).

В каждом случае применение стекол различной толщины (с отношением толщин примерно 1:2) положительно сказывается на звукоизоляции (см. рис. 142). Как при коробчатых, так и при спаренных окнах следует обратить внимание на безупречное отделение оконных рам с помощью мягких прокладок (рис. 143).

В принципе как при одинарном, так и при многократном остеклении большая масса рам сказывается положительно на звукоизоляции окон. По этой причине пустотелые профили хуже, чем массивные из древесины. Новые исследования [160] показали, что заполнение пустотелых профилей песком приводит к заметному улучшению звукоизоляции, а заполнение пенопластом влияет положительно лишь на устойчивость рам и на их теплоизолирующие свойства.

Неплотности в швах следует устранять путем применения уплотняющих профилей в зоне функциональных швов и эластичных уплотняющих материалов в зоне сборочных стыков. При высококачественных окнах потери звукоизоляции за счет неплотностей в швах составляют до 5 дБ.

Особую проблему при хорошо звукоизолированных окнах представляет вентиляция помещений. В то время как при нормальных неплотностях в швах происходит естественная вентиляция помещений, обмен воздуха при очень плотных конструкциях окон требует применения особых вентиляционных устройств (рис. 144). При этом воздухопроницаемость и требования по звукоизоляции противоречат одно другому. Поэтому лишь при относительно дорогом, выполняемом с учетом требований звукоизоляции способе вентиляции удается гарантировать удовлетворительное проветривание без ущерба для звукоизоляции.

В опущенном состоянии жалюзи обеспечивают дополнительную звукоизоляцию около 3 дБ (при очень плотных жалюзи 7 дБ), что для ночного времени вполне достаточно. Однако из-за производимого при их опускании шума эффективность их, к сожалению, сравнительно невелика.

Стены из стеклоблоков, принадлежат к группе легких, жестких на изгиб конструкций. Из-за неблагоприятного положения совпадения и неоднородности таких стен расчетная величина их звукоизоляции может достичь лишь 35—40 дБ (см. рис. 191, *д*).

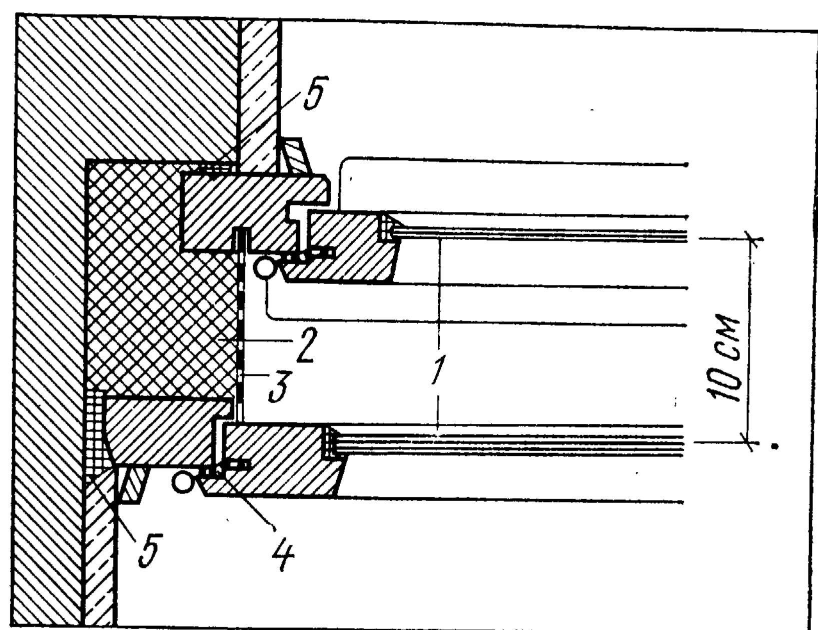


Рис. 143. Принципиальные конструктивные рекомендации для окна с двойным переплетом

1 — стекла разной толщины (например, 3 и 6 мм); *2* — уплотняющий материал в зоне откосов и перемычек; *3* — покрытие пластиной из перфорированной жести, твердых волокнистых плит и т. п.; *4* — манжетное уплотнение в функциональных швах; *5* — долговечный уплотняющий материал

Световые купола из акрилового стекла из-за неблагоприятного поведения при совпадении имеют чрезвычайно плохую звукоизолирующую способность. Из-за одновременно возникающего резонанса двухслойное остекление (рис. 191, *е*) не создает никакого улучшения в сравнении с однослойным.

7. Двери. Звукоизоляция однослойных дверей может быть улучшена только путем увеличения массы дверного полотна. Поэтому еще раз следует обратить внимание

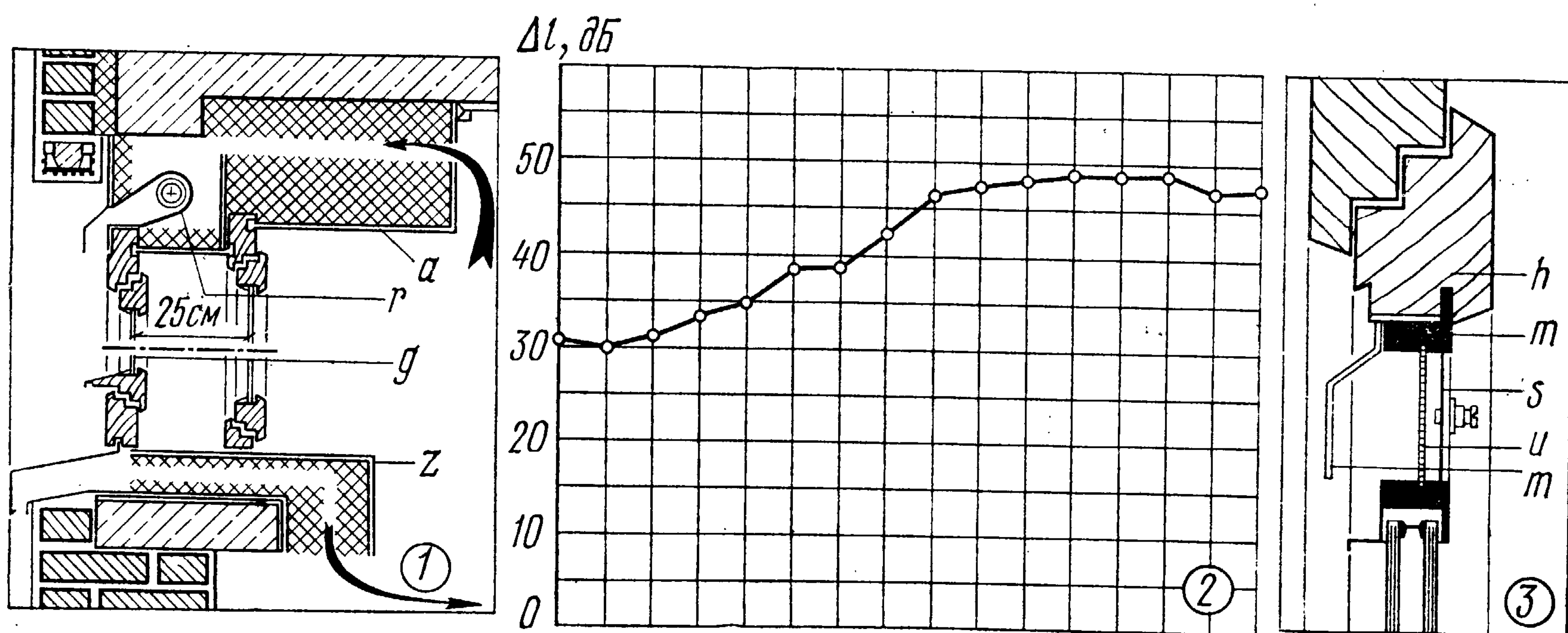


Рис. 144. Вентиляционные устройства

1 — окно с двойным переплетом и механической вентиляционной установкой [93]: *а*, *z* — соответственно вытяжной и приточный каналы со звукопоглощающим материалом; *r* — центробежный вентилятор; *g* — остекление стеклом толщиной 8 и 10 мм; *2* — вызываемый вентиляцией шум относят за счет наружного шума от уличного движения; *3* — вентиляционная заслонка [2]: *h* — деревянная оконная рама; *m* — металлическая рамка заслонки; *s* — заслонка; *u* — проволочная сетка для защиты от насекомых; *w* — защита от осадков.

Примечание. Закрытая заслонка ухудшает звукоизоляцию окна примерно на 2 дБ, открытая — на 6—15 дБ.

на возможность заполнения полостей песком. Если слои многослойных плит при прогибах могут сдвигаться относительно один другого, то акустически это благоприятнее, чем при прочно склеенных плитах такой же общей массы. Расчетная величина звукоизоляции однослойных дверей может достигать 20—25 дБ (см. рис. 191, *а*).

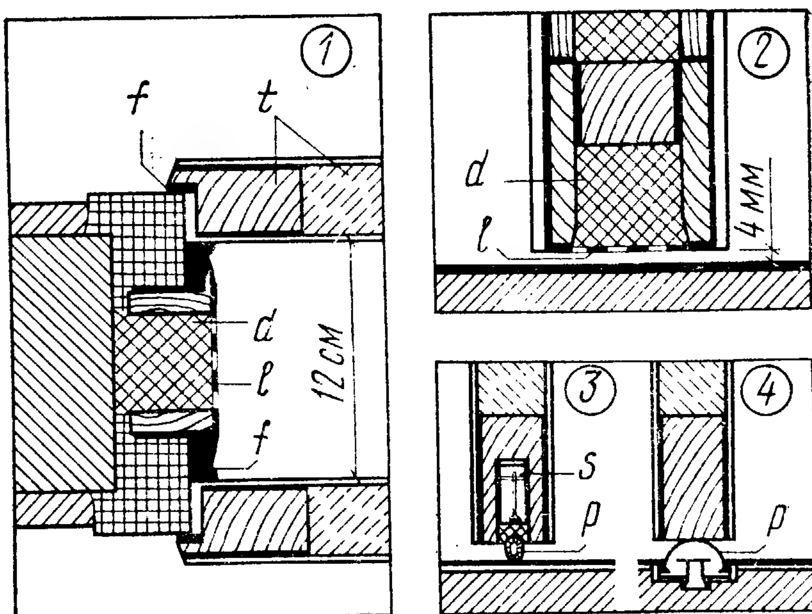


Рис. 145. Конструкции дверей

1 — принцип конструирования двойной двери: *d* — демпфирующий материал в зоне откосов и перемычек; *f* — уплотнение швов; *l* — перфорированное покрытие из жести, фанеры и т. п.; *t* — одинарное дверное полотно с высокой степенью звукоизоляции ($\overline{R}'>35$ дБ); *2* — прорезной гаситель в зоне дверного порога и с боков: *d* — демпфирующий материал; *l* — перфорированное покрытие; *3* — уплотнение порогов механическим дверным уплотнителем; *s* — шарнир; *p* — эластичный уплотняющий профиль; *4* — уплотнение порога с помощью упругого профиля, вмонтированного в поверхность пола

Двухслойные двери лучше звукоизолируют, чем однослойные. Расчетная величина их изолирующей способности достигает 50 дБ, в среднем — 40 дБ. Воздействие стоячих волн воспринимается в них благодаря облицовке внутренней поверхности дверей пористым материалом (рис. 145).

Применение уплотняющих профилей в функциональных швах повышает звукоизолирующую способность дверей. Поэтому рекомендуется также устройство дверных порогов. Положительно сказывается применение скользящих уплотнений в сочетании с подвешенной гибкой полосой. Устройство прорезного поглотителя по периметру дверного полотна (в том числе и при отсутствии порога) повышает звукоизоляцию на 6 дБ. Остекление дверного полотна не снижает общую звукоизоляцию конструкции. В заключение следует отметить, что с точки зрения общей величины звукоизоляции эти конструкции являются слабым местом лишь частично.

ТРЕБОВАНИЯ И ОЦЕНКА

Выше была показана возможность обозначить звукоизолирующую способность конструкции через среднюю величину звукоизоляции $\overline{R}$ или расчетную величину звукоизоляции $\overline{R}_W$. При этом первая возможность оказалась неудовлетворительной. Если среднее значение звукоизоляции стены не соответствует сильно колеблющейся кривой звукоизоляции или кривой чувствительности человеческого уха (рис. 146), то одинаковые результаты получаются как для кривой, которая постоянна, так и для кривой, угол наклона которой возрастает с увеличением частоты. Таким образом, все соответствующие этим кривым стены изолируют воздушный шум, по-видимому, одинаково хорошо, хотя в первом случае звук более низкой частоты, во втором — звук высокой зоны частот изолируется плохо и может быть хорошо слышен на тихой стороне конструкции.

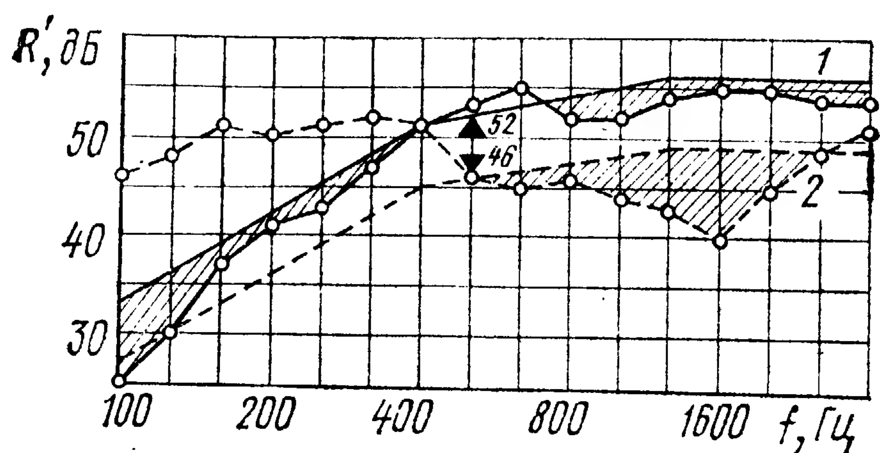


Рис. 146. Определение расчетных значений. Обе конструкции (1, 2) имеют среднюю величину звукоизоляции $\bar{R}=51$ дБ. Расчетные величины звукоизоляции неодинаковы: $R'_{\omega_1}=52$ дБ, $R'_{\omega_2}=46$ дБ

Этих недостатков в учете звукоизолирующей способности при различных частотах пытаются избежать определением расчетного значения звукоизолирующей способности. Принимаемое в некоторых европейских странах значение индекса звкоизоляции от воздушного шума I_a учитывает ухудшение общей звукоизоляции за счет отдельных сильных отклонений от заданной кривой, между тем как максимально допустимое отклонение при терциальном (треть-октавы) измерении ограничено 8 дБ. Это ограничение сохраняется также в нормах ГДР TGL 10688 при определении величины звукоизоляции от воздушного шума $E_в$.

Таким образом, для характеристики звукоизолирующей способности следует применять расчетную величину звукоизоляции R_ω или величину звукоизоляции от воздушного шума. В случаях с особо большими единичными ослаблениями рекомендуется задание индекса звукоизоляции от воздушного шума I_a. Так как приходится учитывать непостоянство кривой, провалы от совпадений и резонанса, особенно для легких и многослойных конструкций, часто задают среднюю величину звукоизоляции, которой следует пользоваться осторожно.

Требования к звукоизоляции строительных конструкций от воздушного шума формулируются в первую очередь DIN4109. В ч. 2 нового издания содержатся требования к звукоизоляции внутренних конструкций от воздушного шума (см. табл. 5 приложения), а в ч. 4— требования и мероприятия по защите от наружного шума.

Действующие в настоящее время минимальные значения не распространяются на игровые помещения и являются действительно минимальными требованиями. Из табл. 25 можно видеть, что даже

ТАБЛИЦА 25. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗОЛЯЦИИ КОНСТРУКЦИИ ОТ ВОЗДУШНОГО ШУМА

Расчетная величина звукоизоляции R_ω, дБ	Слышимость беседы	Слышимость очень громкого крика	Слышимость радиомузыки
32	Хорошая	Очень хорошая	Хорошая
42	Едва понятная	Хорошая	»
52[1]	Неясная	Едва понятная	Плохая
62[2]	Не слышно	Неясная	Не слышно
72	»	»	»

[1] Минимальное требование для перегородок жилых зданий [324].
[2] Предложение по повышенной звукоизоляции [324].

предложения по повышенной звукоизоляции в некоторых случаях почти не дают результата, поскольку сегодня производится бытовая аппаратура, уровень шума которой составляет 80—90 дБ (А). В этой связи следует указать на то, что с выходом нового издания DIN4109 следует ожидать более высоких требований к звукоизоляции от воздушного шума. Достаточно обширный каталог требований к звукоизоляции содержат действующие в ГДР нормы по звукоизоляции TGL 10687.

Для проектирования конструкций, которые не включены в DIN 4109, рекомендуется учитывать приведенные там значения (см. табл. 6 приложения).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

3, 10, 13, 14, 24, 34, 93, 98, 105, 115, 137, 138, 143, 152, 153, 186, 187, 211, 219, 252, 292, 324, 356, 374, 376.

ПРИМЕР

ПРОЕКТ ПЕРЕГОРОДКИ С ДВЕРЬЮ

Задание. Между врачебным кабинетом и приемной врача (рис. 147) должна быть запроектирована стена с соединяющей помещения дверью с хорошей общей звукоизолирующей способностью.

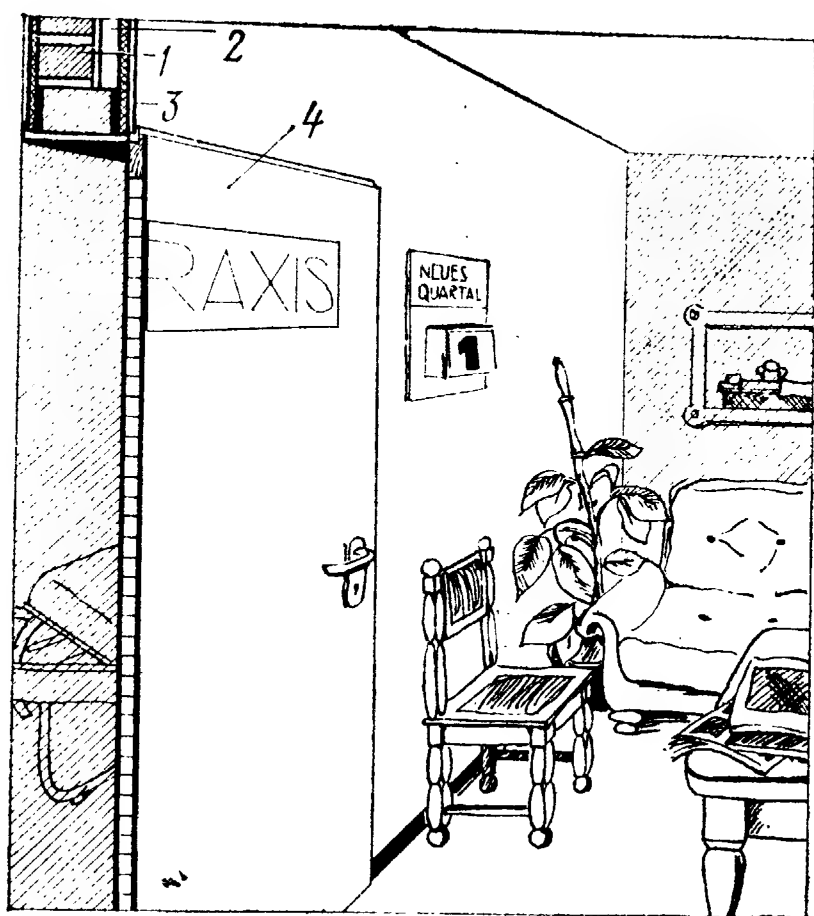


Рис. 147. Перегородка с дверью

1 — стена из силикатного бетона толщиной 11,5 см, оштукатуренная с обеих сторон, общая толщина 14,5 см; 2 — промежуток для обрешетки 2,4 см; 3 — легкая древесноволокнистая плита, оштукатуренная, общая толщина 5 см; 4 — дверь сотовой конструкции из прессованного картона с облицовкой твердоволокнистыми листами, толщина 4,3 см

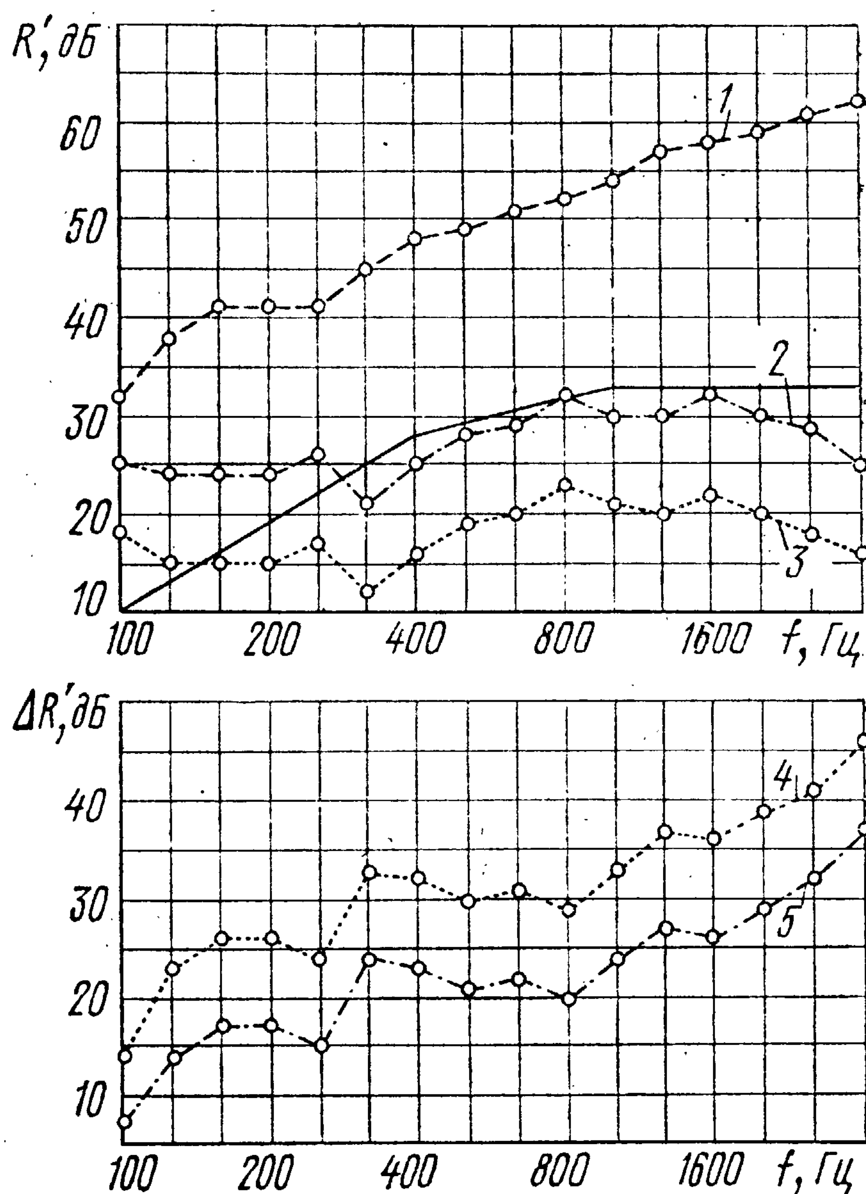


Рис. 148. Кривые звукоизоляции конструкции

1 — перегородка; 2 — перегородка с дверью; 3 — дверь; 4 — $R'_{ст} - R'_{дв}$ — разность величин звукоизоляции между стеной и дверью; 5 — $\Delta R'$ — ухудшение звукоизоляции стены из-за наличия двери

Решение. Требуемое значение звукоизоляции: $R_{w_{общ}}=47$ дБ. — См. табл. 6 приложения

Выбор конструкции. Перегородка: полнотелые силикатные камни толщиной 11,5 см, оштукатуренные с обеих сторон, с облицовкой на относе из легких древесностружечных плит — См. 189, *а*, *б*

Дверь: сотовая конструкция без дополнительного уплотняющего профиля — См. рис. 197, *а*

Определение расчетной величины звукоизоляции $R'_{w_{общ}}$:

отношение $S_{общ} : S_{дв}$:

площадь поверхности стены (включая дверь) $S_{общ}=15$ м²

площадь поверхности двери $S_{дв}=2$ м²

$S_{общ} : S_{дв}=7{,}5$

Определение величины звукоизоляции $R'_{ст}$ и $R'_{дв}$:

значения звукоизоляции $R'_{ст}$ и $R'_{дв}$ нанесены на диаграмму рис. 148, *а*;

разность звукоизоляции $R'_{ст}-R'_{дв}$ нанесена на диаграмму рис. 148, *б*;

снижение значений звукоизоляции $\Delta R'$ определяется и наносится на диаграмму 148, *б*

Определение общей звукоизоляции $R_{общ}$:

путем вычитания величины снижения звукоизоляции $\Delta R'$ и соответствующих величин звукоизоляции стены $R_{ст}$ определяется общая величина звукоизоляции $R'_{общ}$ для каждой трети октавы и наносится на диаграмму рис. 148, *а*

Расчетная величина общей звукоизоляции стены $R_{ст_{общ}}$ со встроенной дверью определяется с помощью базовой кривой, которая составляет 29 дБ — См. рис. 120

Комментарий:

в относительно высококачественной перегородке была запроектирована плохо изолированная простая дверь, которая не имела никакого дополнительного уплотнения. Вследствие этого существенно ухудшена расчетная величина общей звукоизоляции. Неудовлетворительное значение общей звукоизоляции наряду с недостаточными общими звукоизолирующими свойствами двери ($R_{ст}=19$ дБ) привело к особенно плохой звукоизоляции в зоне частот между 1600 и 3200 Гц (отсутствие уплотнения швов) и к совпадению провалов у обеих кривых звукоизоляции в зоне частот между 200 и 400 Гц. Поэтому целесообразно предусмотреть устройство двери с высокими акустическими характеристиками и расчетной величиной звукоизоляции не менее 40 дБ

ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ ОТ УДАРНОГО ШУМА

ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Перекрытия между расположенными одно над другим помещениями внутри здания должны проектироваться с учетом обеспечения звукоизоляции от воздушного и ударного шума. Перед проектировщиками несущей части перекрытия и конструкций пола различного вида ставится задача выполнения минимальных требований по звукоизоляции всей конструкции, т. е. расчетной величины звукоизоляции $R'_W = 52$ дБ и звукоизоляции от ударного шума, равной ± 0 дБ. При удовлетворении требований по звукоизоляции от ударного шума достаточная звукоизоляция от воздушного шума, как правило, обеспечивается.

Для проектирования звукоизоляции от ударного шума несущей части перекрытия и покрытий пола различного вида могут быть последовательно использованы многие возможности, из которых в каждом конкретном случае выбирают одну.

На первом этапе проектирования находят ограничения области применения самого метода; на втором — выполняются требования по минимальной звукоизоляции, на третьем — точное формулирование качества звукоизоляции определяет относительно широкую область применения; на четвертом этапе выполняются мероприятия, обеспечивающие повышенные изоляционные свойства несущей части перекрытия и покрытию пола. При этом могут быть использованы следующие возможности: 1) применение конструкций перекрытия; 2) выбор несущей части перекрытия по I или II группе DIN4109 и соответствующего покрытия пола (см. рис. 162); 3) выбор несущей части перекрытия с известной эквивалентной величиной звукоизоляции от ударного шума и покрытия с известной величиной улучшения (см. рис. 163); 4) выбор несущей части перекрытия с известной нормативной кривой уровня ударного шума и покрытия пола с известной минимальной кривой звукоизоляции от ударного шума (см. рис. 164).

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Понятия и основные величины. Как при оценке защиты от воздушного шума, так и при оценке защиты от ударного шума необходим такой источник, который производил бы шум, охватывающий все возможные эксплуатационные шумы. Такой шум создается стандартной ударной машиной [356] в спектре частот, которые намного превышают все возможные шумы. При установке машины на перекрытие в расположенном под ним помещении (рис. 149) в зависимости от имеющейся конструкции перекрытия создается уровень ударного шума определенной высоты и полосы частот, которыми может быть описано изолирующее действие конструкции перекрытия. При измерении уровня ударного шума приходят также к необходимости

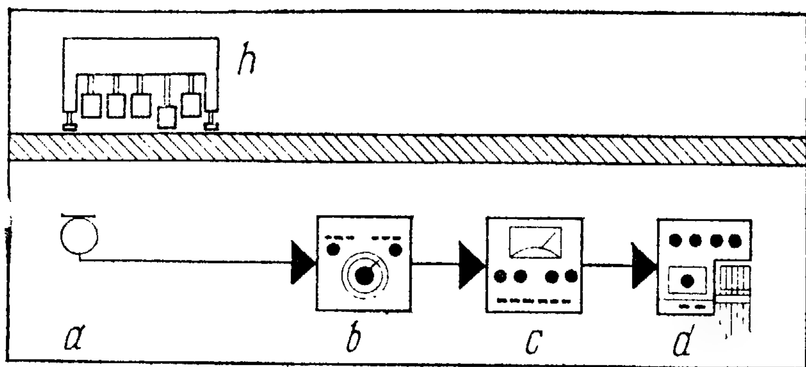


Рис. 149. Измерение уровня звукоизоляции от ударного шума

a — микрофон; *b* — треть-октавный фильтр; *c* — усилитель измерений; *d* — самописец уровней; *h* — стандартная ударная машина

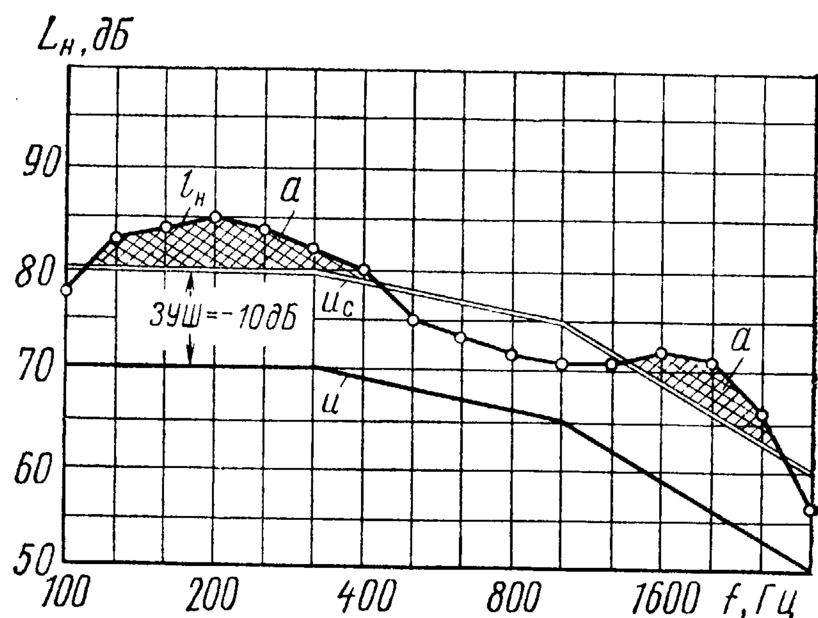


Рис. 150. Стандартная кривая уровня ударного шума $l_н$ и определение величины звукоизоляции от ударного шума

$l_н$ — стандартный уровень ударного шума перекрытия, определенный треть-октавным способом; *u* — базовая кривая по DIN 52210; u_c — сдвинутая базовая кривая; *a* — зона допустимых отрицательных отклонений

учета поглощения звука поверхностями самого помещения. Это осуществляется таким же способом, как при определении нормативной разности уровней звука.

Измеренный уровень ударного шума L с учетом базовой поглощающей поверхности 10 м^2 и фактически имеющейся эквивалентной поглощающей поверхности A (м^2) пересчитывается в нормативный уровень ударного шума L_n (дБ):

$$L_n = L - 10 \lg \frac{10}{A}. \qquad (110)$$

Измерение нормативного уровня ударного шума по DIN 52210 в противоположность измерению воздушного шума является нормализованным измерением на ширину октавной полосы. Поэтому треть-октавное измерение уровня ударного шума должно быть для сравнимости пересчитано в октавный уровень. Измеренный нормативный уровень ударного шума приводится к нормативной кривой уровня ударного шума l_n, которая, подобно кривой звукоизоляции, позволяет судить о качестве исследуемой конструкции перекрытия. Следует внести ясность в различие смысла обеих кривых. В то время как при защите от воздушного шума изолирующее действие конструкции было прямо выражено через величину изоляции, при защите от ударного шума оно выражается путем задания ожидаемого под перекрытием уровня.

Для практического применения в области защиты от ударного шума был предложен ряд понятий. Так, измеренный нормативный уровень ударного шума может быть описан через средний уровень. Выводы делаются тогда по закономерностям сложения уровней. Это предусмотрено в DIN 52210, но в общем такое значение не применяется. Вместо него для характеристики звукоизоляции от ударного шума применяется способ, который в качестве основы для оценки предполагает сравнение между базовой и измеренной кривыми

уровня. Базовая кривая по своей форме учитывает спектр частот стандартной ударной машины, а также мешающее действие производимого шума в зависимости от частоты. Так как ухо человека в зоне более высоких частот реагирует в большей степени, нормативный уровень ударного шума базовой кривой по мере повышения частоты снижается. Для измерения ударного шума сохраняется принятая в строительной акустике область измерений. Своим нулевым положением базовая кривая выражает минимальные требования к защите от ударного шума большей части конструкций. Способы оценки аналогичны тем, которые используются при оценке защиты от воздушного шума. Базовая кривая до тех пор сдвигается в направлении определенной нормативной кривой уровня ударного шума, пока сумма отрицательных октавных отклонений (превышений базовой кривой) не составит 20 дБ (при треть-октавных измерениях — 30 дБ), но не более.

Положительные отклонения могут не учитываться. Отрицательные превышения при 100 и 3200 Гц при треть-октавных измерениях учитываются лишь наполовину, при октавных измерениях это ограничение отпадает.

Сдвиг базовой кривой происходит во всех децибельных шагах и его значения определяет величину звукоизоляции от ударного шума, которая по своему смыслу сравнима с величиной звукоизоляции от воздушного шума. При этом сдвиг вверх дает отрицательное, а сдвиг вниз — положительное значение звукоизоляции от ударного шума (рис. 150). Поскольку часто несущая часть перекрытия должна сочетаться с различными покрытиями пола, эти отдельные составные части всей конструкции в отношении своих акустических качеств могут быть охарактеризованы раздельно.

Вызываемое верхним строением перекрытия повышение звукоизоляции в отдельных октавных зонах выражается через снижение ударного шума ΔL. Все 10 (или при треть-октавном измерении — 16) значений снижения ударного шума образуют кривую снижения ударного шума Δl (рис. 151). Если на несущую часть перекрытия с известной нормативной кривой уровня ударного шума уложено в верхнее покрытие с известным снижением кривой ударного шума, то ожидаемый нормативный уровень ударного шума всей конструкции может быть достаточно просто определен путем вычитания снижения из значения уровня несущей части перекрытия (см. рис. 151). Если на несущую часть перекрытия уложено несколько слоев (например, стяжка и покрытие пола), то это означает, что величина снижений ударного шума обоих слоев вычитается из нормативных значений уровня ударного шума.

Кривые снижения ударного шума покрытий пола определяются следующим образом [324, 356]. На железобетонном перекрытии толщиной 12,5 см как на базовой конструкции располагают исследуемые конструкции верхнего покрытия и определяют нормативные уровни кривых ударного шума всего строения. Из этих значений уровня вычитают установленные ранее значения базового перекры-

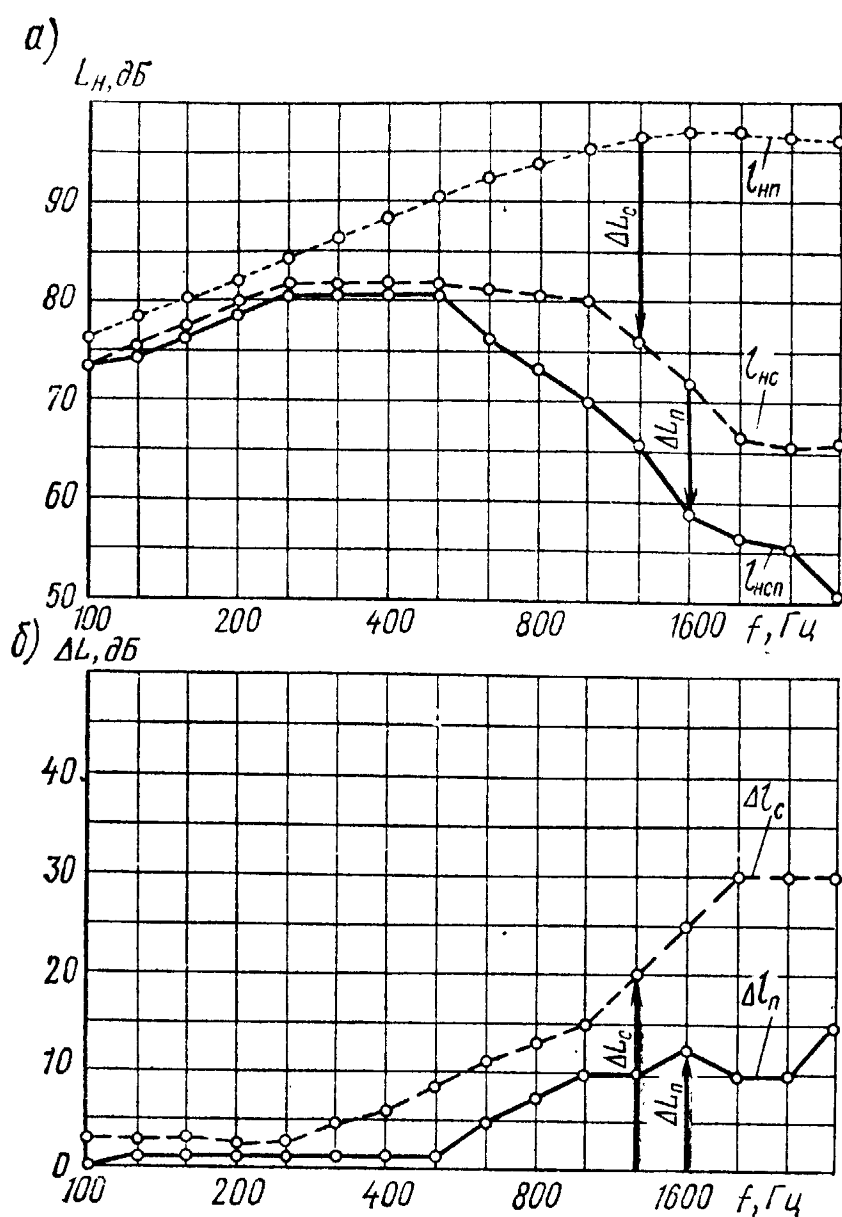


Рис. 151. Звукоизоляция несущей части перекрытия и верхнего покрытия пола от ударного шума

а — нормативные кривые уровней ударного шума; $l_{н.п}$ — несущей части перекрытия; $l_{н.с}$ — несущей части перекрытия со стяжкой; $l_{н.с.п}$ — несущей части перекрытия со стяжкой и покрытием пола; *б* — кривые уменьшения ударного шума: $Δl_с$— стяжки; $Δl_п$ — покрытия пола

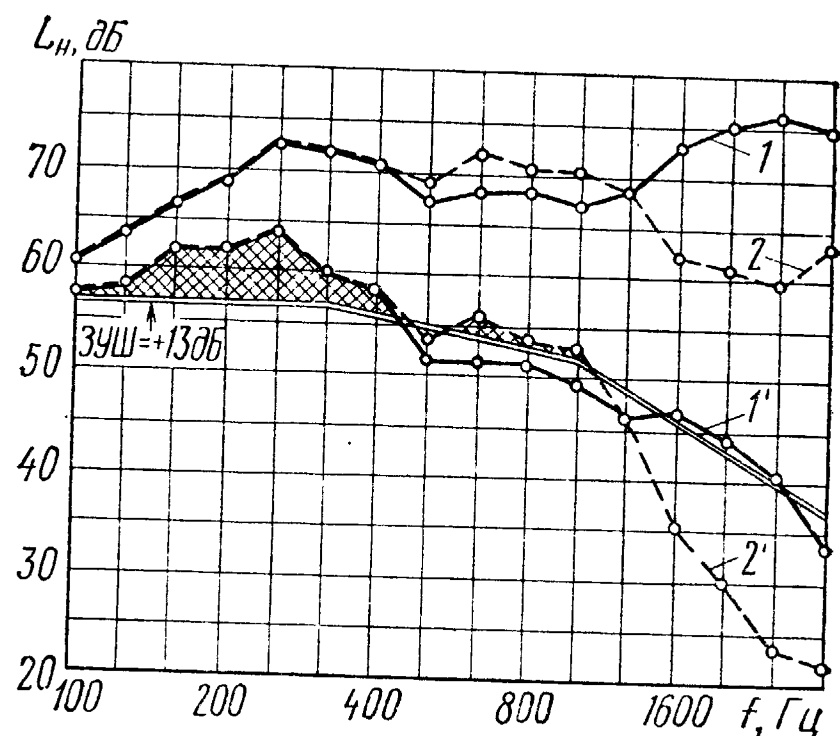


Рис. 152. Нормативные кривые уровней звукоизоляции от ударного шума двух несущих перекрытий (*1*, *2*) и этих же перекрытий с одинаковой стяжкой (*1'*, *2'*)

$ЗУШ_1$=—11 дБ; $ЗУШ_2$=—2 дБ

тия и получают таким образом значения снижения ударного шума $ΔL$ за счет покрытия пола.

Для покрытий пола в качестве необходимых дополнений к величинам звукоизоляции от ударного шума несущей части перекрытий также предложены определенные понятия. Если для описанных выше конструкций перекрытий определить величины звукоизоляции от ударного шума и из них вычесть установленную на уровне — 15 дБ величину звукоизоляции от ударного шума базового перекрытия, то получится величина «улучшения» покрытия пола. Эта величина не может, правда, непосредственно прибавляться к величине звукоизоляции от ударного шума несущей части перекрытия. Она нужна для другой константы, необходимость которой сначала должна быть объяснена на примере.

На рис. 152 построены нормативные кривые уровней ударного шума несущей части перекрытия и этого перекрытия вместе с покрытием пола. Величина звукоизоляции от ударного шума несущей части перекрытия составляет — 11 дБ, величина улучшения благодаря покрытию — 24 дБ. Конструкция перекрытия (рис. 152, кривая *2*) состоит из такого же покрытия и другой несущей части с величиной звкоизоляции от ударного шума, равной — 2 дБ. При простом сложении величины звукоизоляции от ударного шума несущей части перекрытия и величины улучшения звукоизоляция первого перекрытия должна получиться равной + 13 дБ, второго + 22 дБ. Однако если величину звукоизоляции от ударного шума всей конструкции определить через их нормативные кривые ударного шума (см.

рис. 150, 151), то в обоих случаях получаются одинаковые значения, равные +13 дБ.

Возникающее при этом расхождение объясняется условиями способа определения ЗУШ. Нормативная кривая уровня ударного шума первого перекрытия почти не имеет, а второго имеет значительные положительные отклонения от заданной кривой, которые при определении не могут быть приняты в расчет. Хотя звукоизоляция обоих перекрытий и должна быть де-факто улучшена одинаково, это улучшение не может быть в обоих случаях учтено одинаково. Таким образом, возникает видимая или обусловленная методом различная улучшаемость несущей части перекрытий вследствие применения верхнего покрытия. Однако поскольку базовое перекрытие характеризуется таким или нормативным уровнем ударного шума, как несущая часть перекрытия из первого примера, то лишь для перекрытий с таким же очень близким видом кривой сложение величин улучшения и звукоизоляции от ударного шума несущей части перекрытия может принести необходимый результат. Во всех других случаях из-за недостаточного учета вида кривой нормативного уровня ударного шума несущего перекрытия, возникают более или менее крупные ошибки. Чтобы можно было все же применять способ сложения постоянных величин, необходимо в данных для несущей части перекрытия учесть возникающие отклонения кривой нормативного уровня шума базового перекрытия. Это производится путем применения эквивалентной величины звукоизоляции от ударного шума $ЗУШ_{экв}$, которая определяется следующим образом (рис. 153).

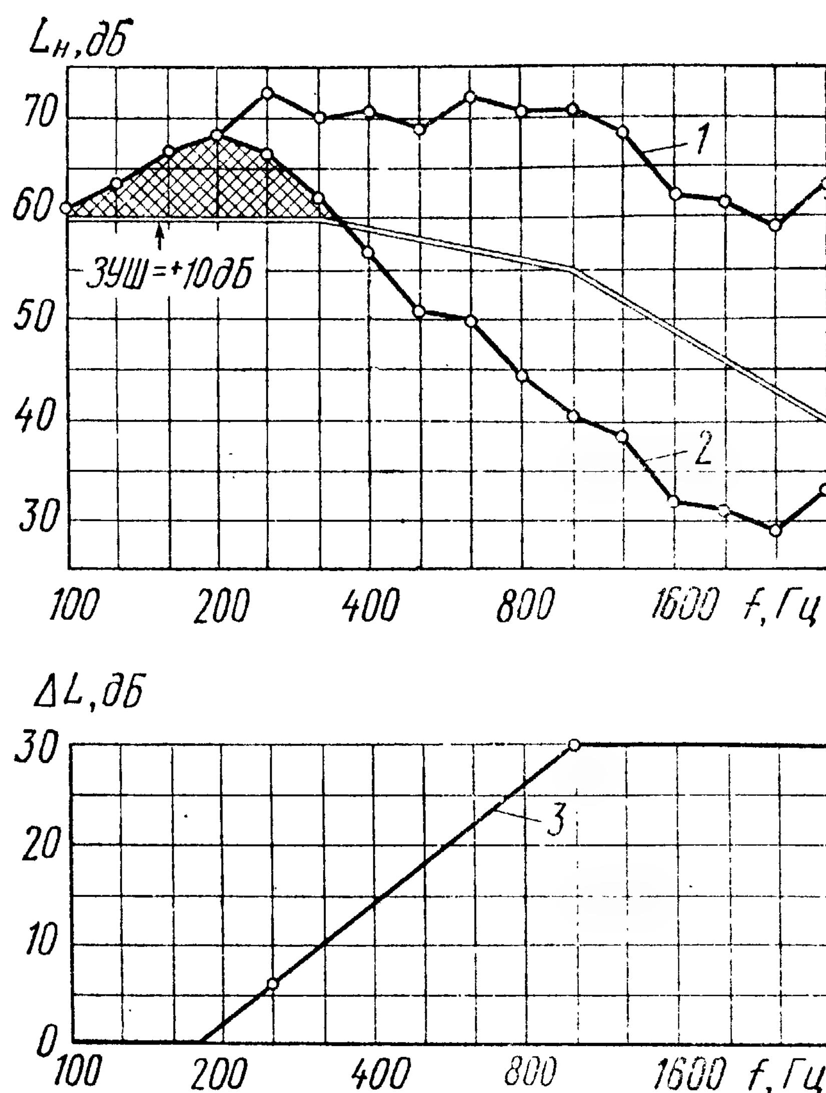


Рис. 153. К определению эквивалентных величин звукоизоляции от ударного шума $ЗУШ_{экв}$

1 — нормативная кривая уровня звукоизоляции несущего перекрытия от ударного шума; *2* — нормативная кривая уровня звукоизоляции несущего перекрытия от ударного шума несущего перекрытия с покрытием *3*.

Улучшение звукоизоляции этого покрытия составляет 20 дБ. Звукоизоляция от ударного шума $ЗУШ_{экв}$: 10—20=—10 дБ

От нормативной кривой уровня ударного шума несущей части перекрытия вычитается значение уменьшения ударного шума за счет теоретического корректирующего покрытия [356] (см. рис. 153, кривая *3*), величина которого составляет 20 дБ. Если определить величину звукоизоляции от ударного шума «корректирующей конструкции» и вычесть из нее величину улучшения ВУ, равную 20 дБ, то получим эквивалентную величину звукоизоляции от ударного шума

несущей части перекрытия. Благодаря теоретической имитации изолирующей функции несущей части с покрытием учитывается ожидаемый ход кривой нормативного уровня ударного шума при пересчете в эквивалентное значение. К этому значению уже применим способ сложения. Таким образом, величина звукоизоляции от ударного шума (дБ) всей конструкции рассчитывается путем сложения эквивалентной величины звукоизоляции от ударного шума несущей части перекрытия и величины улучшения применяемого покрытия пола:

$$ЗУШ_{общ} = ЗУШ_{экв} + ВУ. \qquad (111)$$

Во многих случаях для несущей части дано лишь фактическое значение ЗУШ. Однако благодаря описанному выше способу оказывается возможным определить необходимую эквивалентную величину звукоизоляции от ударного шума.

Если на несущую часть перекрытия укладывают несколько слоев, также следует иметь в виду возможность больших положительных отклонений. Поэтому нельзя просто сложить обе величины улучшения с эквивалентной величиной звукоизоляции от ударного шума несущей части перекрытия. В этом случае необходимо для конструкции, состоящей из несущей части и первого слоя покрытия, вновь определить эквивалентную величину звукоизоляции от ударного шума. Этот сложный способ можно обойти путем применения приведенных в табл. 26 корректировочных коэффициентов [150]. Небольшое дополнительное улучшение благодаря второму слою покрытия приводит к тому, что уменьшение значения уровня шума происходит преимущественно в зоне высоких частот, где за счет первого покрытия уже произошло достаточное улучшение. Наконец, для определения величины звукоизоляции от ударного шума конструкции, состоящей из несущей части и двух слоев покрытия, может быть применена формула

$$ЗУШ_{общ} = ЗУШ_{экв} + ВУ_1 + k. \qquad (112)$$

Следует отметить, что выше речь идет лишь о расчетных средних значениях, которые определяются с известными допусками. Поэтому в экстремальных случаях применение этих констант может привести к ошибочной оценке всей конструкции.

ТАБЛИЦА 26. КОРРЕКТИРОВОЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ k, дБ, ДЛЯ УЧЕТА СЛОЕВ КОНСТРУКЦИЙ [150]

$ВУ_1 - ВУ_2$, дБ	При $ВУ_1$, дБ			
	25	20	15	10
0	6	1,5	1	0
1	5	1	0	0
2	4	0,5	0	0
3	3	0	0	0
5	1,5	0	0	0

2. Звукоизоляция от ударного шума однослойной конструкции. Звукоизоляция однослойной конструкции от ударного шума (ЗУШ), как и звукоизоляция от воздушного шума, зависит от свойств данного материала и толщины

конструкции, а также от частоты возбуждения ударного шума. Подчиняясь более сложным закономерностям, чем звукоизоляция от воздушного шума, ЗУШ тем не менее для однородных плит может быть определена по следующей формуле (95):

$$L_y \approx 20 \lg \frac{f^{0,25}}{E^{0,38} \rho^{0,63} d^{1,75}}. \qquad (113)$$

Из этой формулы можно видеть, что толщина конструкции имеет наибольшее значение для звукоизоляции. Так, уровень ударного шума под массивной однородной конструкцией снижается: с каждым удвоением толщины конструкции — на 10,5 дБ, с каждым удвоением значения плотности — на 3,8 дБ, с каждым удвоением модуля E — на 2,3 дБ. Уровень ударного шума, наоборот, повышается с увеличением частоты и, в частности, с каждым удвоением частоты при использовании однородных плит на 1,5 дБ и неоднородных плит перекрытия типа пустотных настилов — до 4,5 дБ. Отсюда видно, что неоднородные однослойные конструкции менее благоприятны, чем однородные равной толщины или равной массы, не только относительно звукоизоляции от воздушного шума.

Формула (113) имеет ограничение лишь в интервале выше граничной частоты совпадения. Ниже этой частоты нормативный уровень ударного шума (вследствие незначительного излучения через конструкцию) меньше, чем следовало ожидать по формуле (113). Но в последнюю очередь из-за неблагоприятных в отношении чувствительности слуха значений частот нормативной кривой уровня ударного шума однослойная конструкция не обеспечивает, как правило, достаточной изоляции от ударного шума (рис. 154).

3. **Звукоизоляция от ударного шума многослойной конструкции.** Достаточная величина звукоизоляции от ударного шума конструкции обычной массы может быть достигнута лишь при использовании многослойных, как правило, двухслойных конструкций. В отношении звукоизоляции от ударного шума двухслойная конструкция функционирует по известному принципу масса—пружина—масса. Так, звукоизоляция двухслойной конструкии в зоне выше своей резонансной частоты повышается на 12 дБ на каждую октаву — закономерность, которая была установлена при рассмотрении звукоизоляции двухслойных конструкций от воздушного шума. Далее отдельно рассматриваются конструкции плавающих полов, полов с эластичными покрытиями, подвесных потолков и балочных перекрытий.

3.1. **Плавающие полы**. Здесь «масса» образуется плитой стяжки, а «пружина» — мягким промежуточным слоем. Резонансная частота (Гц), при которой эффективна двухслойность конструкции, рассчитывается по известной формуле

$$f_0 = 500 \sqrt{\frac{E_{дин}}{d_a} \left(\frac{1}{M_c} + \frac{1}{M_п} \right)}, \qquad (114)$$

где $E_{дин}$ — динамический модуль упругости промежуточного слоя, $10^5 \cdot Н/м^2$; d_a — толщина этого слоя, см; M_c и $M_п$ — масса 1 $м^2$ поверхности плиты стяжки и несущей плиты перекрытия, кг.

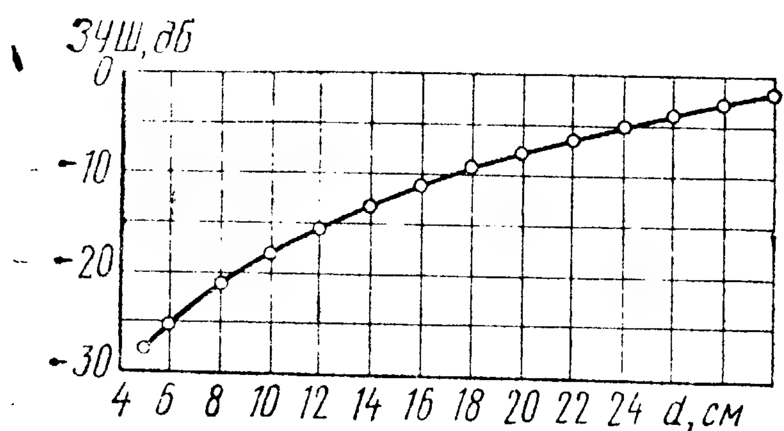


Рис. 154 Звукоизоляция от ударного шума однослойных перекрытий — железобетонных плит различной толщины [10]

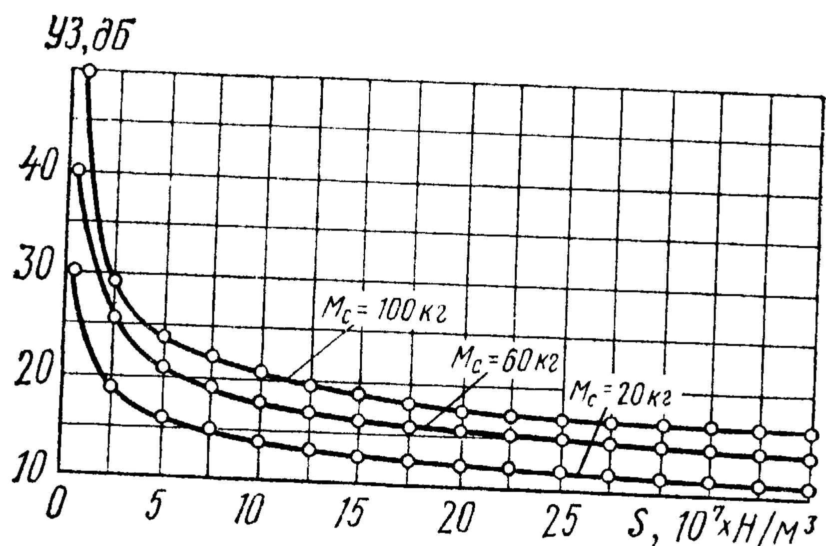


Рис. 156. Влияние массы 1 м² стяжки M_c и жесткости изоляционного слоя на улучшение звукоизоляции (УЗ)

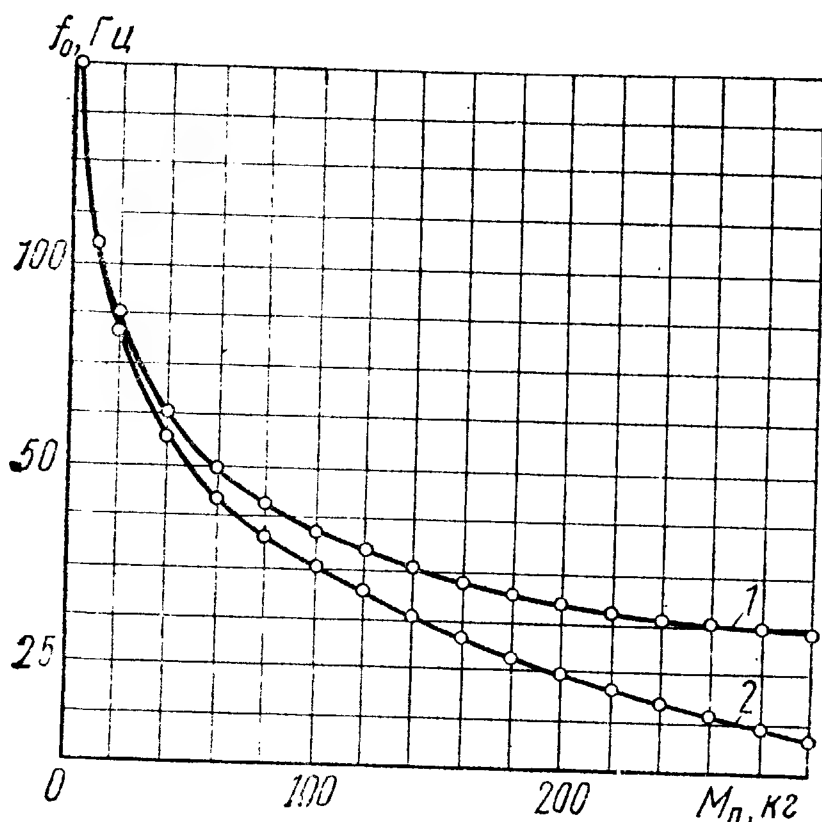


Рис. 155. Влияние массы 1 м² поверхности несущей части перекрытия $M_п$ на вычисление резонансной частоты f_0 по формуле [114] при переменной массе поверхности стяжки M_c и постоянной динамической жесткости $s=0{,}5\times10^7$ Н/м³

1 — с учетом массы 1 м² поверхности несущей части перекрытия ($M_п=300$ кг); *2* — без учета массы несущей части перекрытия ($M_п \to \infty$)

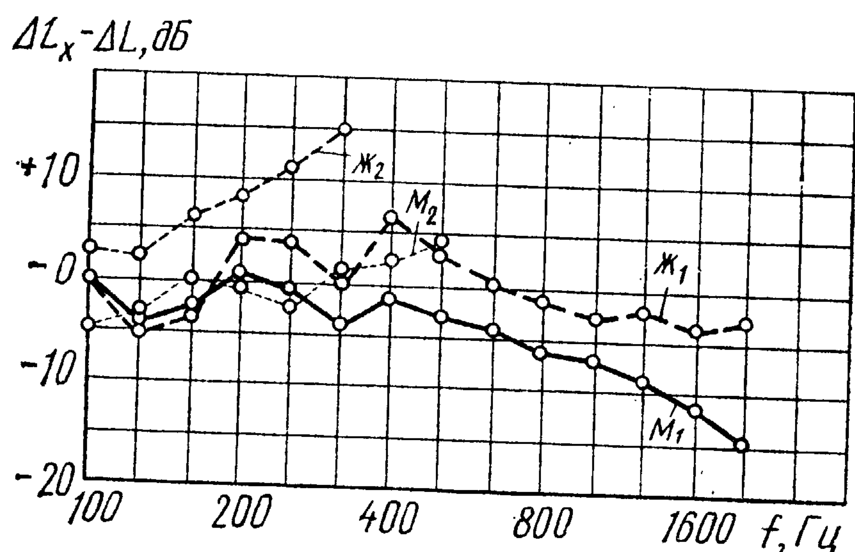


Рис. 157. Уменьшение ударного шума, вызываемого ходьбой ΔL_x (м — мужской, ж — женской) и стандартной ударной машиной ΔL [10]

$м_1ж_1$ — однослойное синтетическое покрытие; $м_2ж_2$ — ковровое покрытие

Поскольку действие слоя стяжки начинается лишь в зоне частот выше резонансной частоты f_0, последняя должна быть расположена как можно ниже. Из формулы (114) видно, что резонансная частота зависит от массы поверхности плиты пола, динамического модуля упругости $E_{дин}$ и толщины промежуточного слоя $d_п$, т. е. от его динамической жесткости $S'_{дин}$ ($10^7\cdot$Н/м³). При достаточно высокой массе единицы поверхности несущей части перекрытия влиянием второй массы можно пренебречь, если применяются обычные в строительстве параметры конструкций. Рис. 155 показывает, как изменяется резонансная частота с увеличением массы плиты пола, но он показывает также, что при обычном значении массы несущей части перекрытия, равной порядка 300 кг в расчете на 1 м², и массе поверхности стяжки пола менее 100 кг на 1 м² (отношение масс 3 : 1) масса несущей части перекрытия для резонансной частоты почти не играет роли. При отношении масс 10 : 1 влияние несущей части перекрытия практически равно нулю.

По этой причине ожидаемая величина улучшения, получаемая за счет плавающего пола, может предопределяться жесткостью применяемого промежуточного слоя и массой поверхности слоя, распределяющего нагрузку.

Из рис. 156 может быть определена величина улучшения в зависимости от массы стяжки пола и жесткости изоляционного слоя. Из рисунка видно также, что при использовании изоляционных материалов, обладающих высокой жесткостью, заметное повышение величины улучшения не может быть достигнуто даже при значительном увеличении массы. При этом уменьшение жесткости и увеличение массы поверхности — совместные мероприятия, обеспечивающие оптимальный результат. Этот вывод соответствует положению, которое было установлено в отношении звукоизоляции двухслойных стен от воздушного шума.

3.2. Эластичные покрытия поля. Вызываемое эластичным покрытием пола снижение ударного шума также зависит от возбуждаемой частоты. Возникает резонанс, при котором снижение уровня ударного шума равно нулю. Здесь иные закономерности, нежели принцип масса—пружина—масса, так как масса плиты, распределяющей нагрузку, отсутствует. Возникновение резонанса зависит скорее от времени контакта t между возбудителем колебаний и покрытием:

$$f_0=0{,}45/t. \qquad (115)$$

После прохождения резонансной частоты кривая повышается на 12 дБ при каждом удвоении частоты.

Из уравнения (115) вытекает, что резонансная частота снижается по мере увеличения времени контакта, которое, в свою очередь, зависит от глубины проникания молотка в слой, от жесткости слоя, веса и размера молотка. Таким образом, в противоположность обсуждавшимся до сих пор конструкциям звукоизоляция от ударного шума, создаваемая эластичным покрытием, зависит от вида возбудителя ударного шума. По этой причине результаты измерений уменьшения уровня за счет эластичного покрытия отличаются при применении стандартной ударной машины и при ходьбе по исследуемому перекрытию (рис. 157). Поэтому кривые снижения уровня ударного шума, достигаемого применением мягких покрытий, определенные с помощью стандартной ударной машины, вызывают некоторое сомнение.

3.3. Подвесные потолки. Действие подвесного потолка состоит в том, что излучаемый перекрытием вниз ударный шум распространяется как воздушный шум, проходит через подвесной потолок, как через звукоизоляцию, и затем воспринимается расположенным под ним помещением в уменьшенном уровне. Подвесной потолок должен быть плотным и располагаться на достаточно большом расстоянии от плиты перекрытия. Как и всякая колебательная система, конструкция подвесных потолков подвержена влиянию резонанса. Кроме того, при больших расстояниях между оболочками возникают

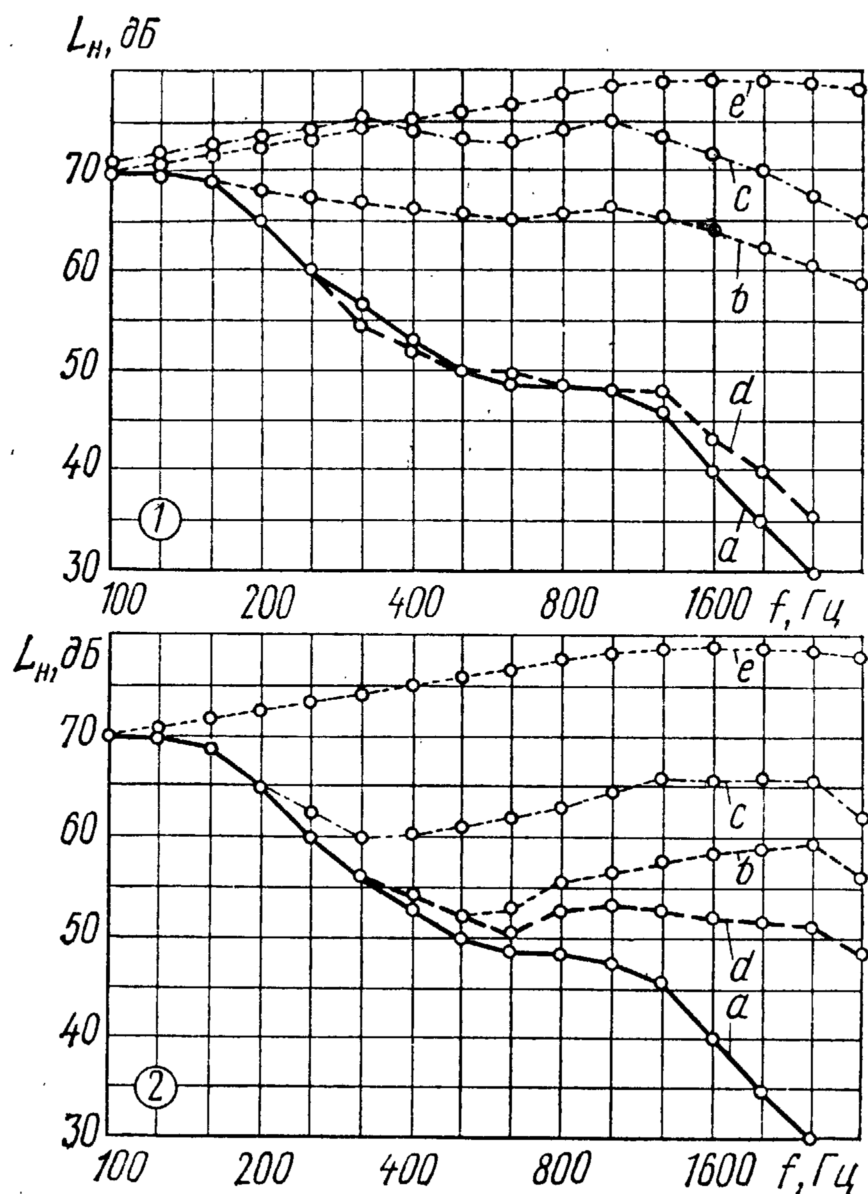


Рис. 158. Влияние акустических мостиков на изоляцию от ударного шума перекрытий с плавающими полами

1 — точечные акустические мостики в нормальном сечении [14]: *a* — без акустических мостиков; *b* — один акустический мостик; *c* — 10 акустических мостиков; *d* — 10 акустических мостиков с картоном между несущей частью перекрытия и слоем изоляции; *e* — несущее перекрытие без плавающего пола; *2* — линейные акустические мостики в перекрытии [14]: *a* — без акустических мостиков; *b* — акустический мостик длиной 0,1 м; *c* — то же, 0,5 м; *d* — то же, 2,5 м; *e* — несущее перекрытие без плавающих полов

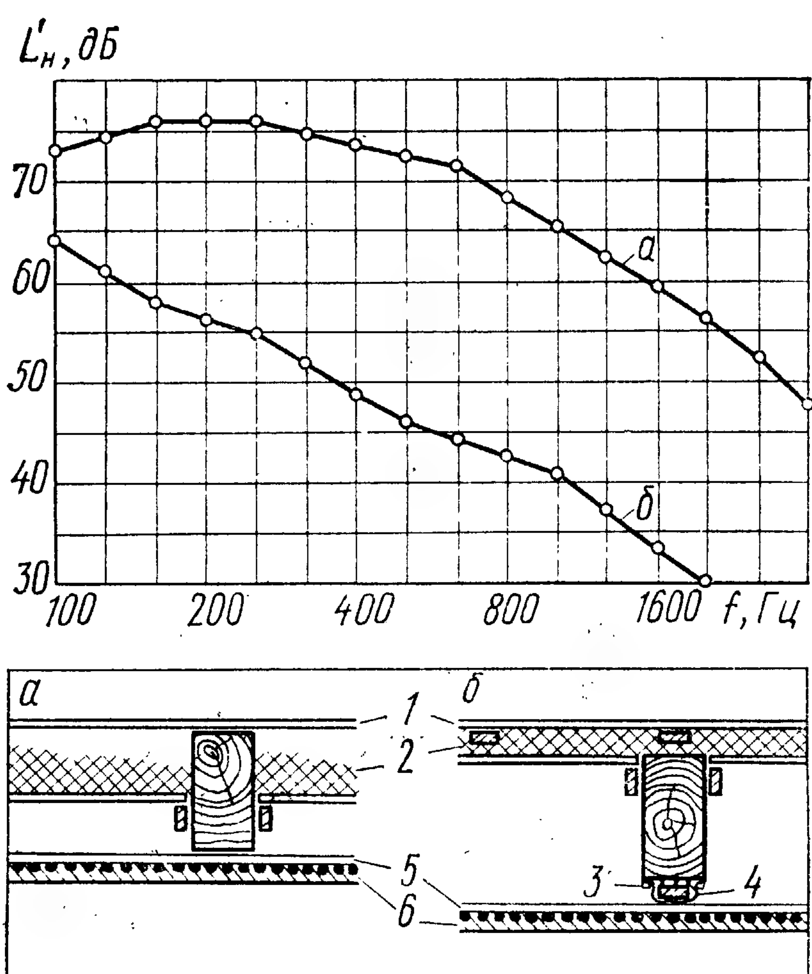


Рис. 159. Влияние акустических мостиков на изоляцию от ударного шума деревянных балочных перекрытий [14]

1 — паркетный пол; *2* — засыпка; *3* — полосы изоляции; *4* — пружинный хомут с держателями; *5* — обрешетка; *6* — тростниковый мат со штукатуркой

стоячие волны, которые ухудшают звукоизоляцию в соответствующих зонах частот, если путем достаточного поглощения в пространстве между перекрытием и подвесным потолком не обеспечивается снижение энергии звука.

Повышенное изолирующее действие многих гибких, как правило, подвесных потолков базируется на их незначительной излучающей способности. Этим можно объяснить также хорошее звукоизолирующее действие от ударного шума подвесных потолков даже при небольших расстояниях между оболочками.

На рисунке 196, *б* хорошо видно действие подвесного потолка. Нормативный уровень ударного шума под примерно равными по массе конструкциями перекрытий значительно ниже у конструкций с подвесными потолками.

3.4. Балочные перекрытия. Балочные перекрытия, особенно деревянные, вследствие своей неоднородности не являются однослойными, однако из-за своего строения они не соответствуют обычным двухслойным конструкциям. Они состоят из двух легких оболочек, которые связаны между собой балками в относительно большом числе мест. Поэтому их звукоизолирующая способность от ударного шума в большой мере определяется возможным переносом звука через балки.

3.5. **Влияние акустических мостиков.** Акустические мостики влияют на звукоизоляцию двухслойной конструкции так же отрицательно, как и на звукоизоляцию от воздушного шума. При этом следует различать акустические мостики в нормальном сечении и в боковых примыканиях плит перекрытия.

В плавающих полах акустические мостики возникают, если, например, жидкий материал монолитной стяжки проникает в мягкий изоляционный слой и образует в этих местах точечные или линейные зоны контакта между плитой стяжки и несущей частью перекрытия. Действие таких акустических мостиков на звукоизоляцию перекрытий с плавающими полами весьма значительно даже при небольшом их числе. При этом неблагоприятное действие в высоких зонах частот сильнее, чем в низких. На рис. 158, *а*, *б* показано влияние акустических мостиков в нормальном сечении и в краевых примыканиях. При этом оказывается, что при наличии лишь десяти акустических мостиков небольшого диаметра снижение ударного шума за счет устройства плавающих полов уже полностью сводится на нет. Акустические мостики в нормальном сечении влияют на звукоизоляцию перекрытий заметно сильнее, чем в краевых примыканиях. При этом они тем лучше проводят звук, чем глубже их контакт с обеими оболочками конструкции.

Наличие акустических мостиков в подвесных потолках действует отрицательно на звукоизоляцию от ударного шума вследствие того, что дополнительно в излучающую оболочку подвесного потолка вводится звуковая энергия. Для балочных перекрытий с очень тонкими оболочками звукоизоляция от ударного шума почти исключительно зависит от отсутствия акустических мостиков в балках, так что при равной массе поверхности и одинаковой конструкции в случае, показанном на рис. 159, величина звукоизоляции от ударного шума за счет предотвращения образования акустических мостиков может быть повышена до 20 дБ.

УКАЗАНИЯ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ

Ниже речь идет лишь о конструкциях перекрытий, имеющих несколько оболочек или многослойных, поскольку однослойные конструкции перекрытий ни в каких требованиях по звукоизоляции от ударного шума не нуждаются.

1. **Стяжки. 1.1. Стяжки, уложенные непосредственно на основание.** Ударный шум уменьшается в этом случае благодаря увеличению массы поверхности плиты и общей толщины. Их действие подобно действию амортизатора. Функционируют они в какой-то степени по закономерностям, присущим мягким покрытиям. Эффективность стяжек, уложенных на основание, в известной мере ограничена, поэтому их не следует принимать во внимание как мероприятие, снижающее уровень ударного шума.

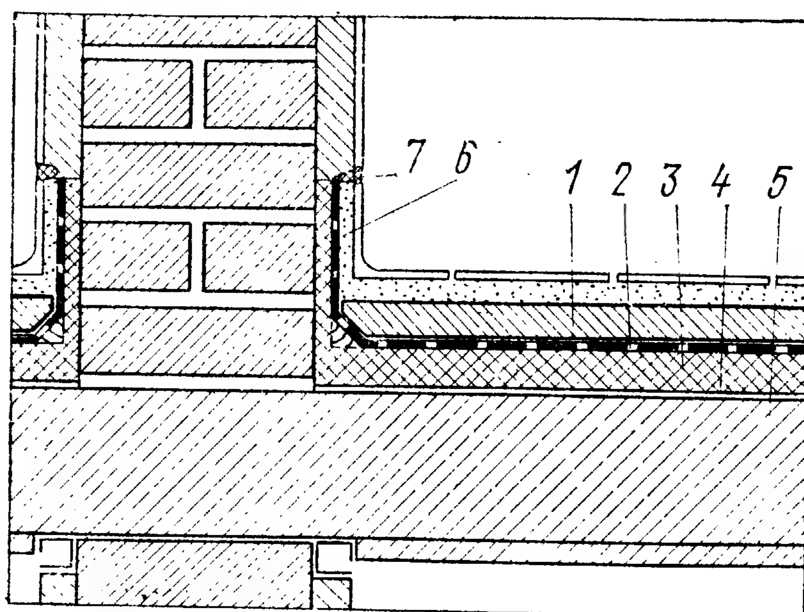


Рис. 160. Принципиальные конструктивные рекомендации для устройства плавающих полов

1 — по возможности тяжелая плита пола; 2 — изоляционный слой во избежание образования акустических мостиков; 3 — по возможности мягкий подстилающий слой; 4 — картон для уменьшения влияния акустических мостиков; 5 — как можно более тяжелая несущая плита перекрытия; 6 — мягкая краевая изоляционная полоса; 7 — разделение покрытий пола и стен (для мокрых помещений)

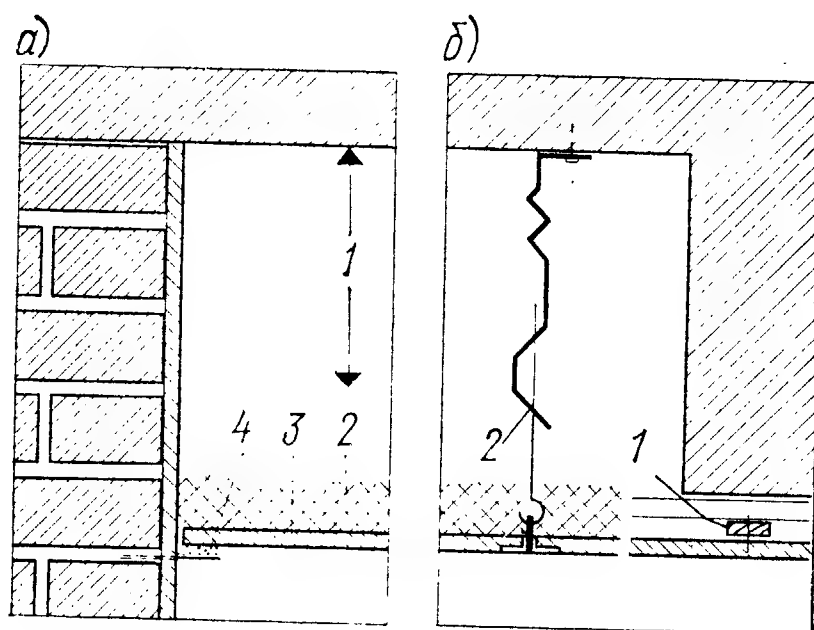


Рис. 161. Принципиальные конструктивные рекомендации для устройства подвесных потолков

а — нормальное сечение примыкания: 1 — как можно большее расстояние между несущим перекрытием и подвесным потолком; 2 — поглощающий материал в промежутке между оболочками; 3 — как можно более тяжелый и гибкий подвесной потолок; 4 — плотное боковое примыкание; *б* — крепление потолка: 1 — крестообразная обрешетка из реек (уменьшает поверхность переноса звука); 2 — подвеска на пружинящем элементе

1.2. Плавающие полы. Снижение ударного шума путем устройства плавающих полов (рис. 160) возрастает с увеличением массы поверхности плиты, распределяющей нагрузку, и уменьшением жесткости изоляционного слоя. При этом к толщине плиты в зависимости от материала стяжки и жесткости промежуточного слоя предъявляются требования [324] по прочности, которые противоречат требованиям, предъявляемым исходя из акустических соображений. Величина улучшения звукоизоляции за счет применения плавающих полов может составлять от 15 до 35 дБ (см. рис. 197 и последующие).

В качестве материала плиты, распределяющей нагрузку, можно использовать цементные, гипсовые и ангидритовые стяжки, а также литой асфальт. Последний вследствие своей высокой амортизирующей способности в меньшей степени переносит звук через акустические мостики.

Изоляционный слой должен обладать минимальной жесткостью и состоять из волокнистых, пенопластовых изоляционных материалов или засыпок. Причем упругость промежуточных слоев повышается, если они уплотнены совместно. При проектировании следует учитывать, что жесткость вследствие уплотнения материала с течением времени возрастает. DIN4109 требует поэтому увеличения на 3 дБ минимальных расчетных требований к величине звукоизоляции от ударного шума конструкций, которые находятся в эксплуатации не менее двух лет (см. табл. 5 приложения).

Динамический модуль упругости минеральных волокнистых материалов уменьшается со снижением объемной массы, но за счет связанного с этим повышенного сжатия под нагрузкой достигается

большая жесткость. Поэтому рекомендуется учитывать жесткость в сжатом состоянии и избегать применения материалов объемной массой менее 100 кг/м^3. Плиты из пенополистирола лишь тогда пригодны в качестве звукоизолирующего слоя, когда они изготовлены в виде рулонного материала. Обычные плиты из пенополистирола в качестве промежуточного слоя непригодны, как непригодны из-за слишком большой жесткости легкие древесностружечные плиты, засыпки из песка и шлака, а также из пеностекла.

Слой гидроизоляции между плитой и изоляционным материалом должен быть сильно нагружен, чтобы при укладке материала стяжки он не нарушился. Кроме того, при использовании твердых пеноматериалов общая жесткость в этом месте дополнительно снижается применением профилированной бумаги. Чтобы быть эффективной, плита стяжки должна иметь эластичные примыкания по краям к окружающим конструкциям. Из-за незначительного переноса звука в краевых зонах могут быть применены полосы изоляционного материала большей жесткости, чем в нормальном сечении. Чтобы избежать протечек, следует обратить внимание на тщательность выполнения гидроизоляции полов и стены в зоне краевых изоляционных полос. Это примыкание — весьма критическая точка для мокрых помещений и к нему следует относиться с должным вниманием.

2. **Полы.** Уменьшение уровня ударного шума за счет применения мягковолокнистых покрытий может быть достигнуто лишь использованием многослойных изделий. Величина улучшения звукоизоляции колеблется между 5 и 20 дБ, для ковровых покрытий — до 30 дБ. При этом снижение уровня ударного шума зависит от способа укладки покрытия. При облицовке часто приходится считаться с ограничением величины снижения уровня ударного шума, потому что клей проникает в поры мягкого подстилающего слоя и там затвердевает (см. рис. 198). Деревянные полосы (доски или паркет на массивной несущей плите перекрытия) лишь тогда создают достаточное снижение уровня ударного шума, когда их лаги уложены на мягковолокнистые материалы (см. рис. 197).

3. **Подвесные потолки** (рис. 161) обеспечивают бо́льшее снижение уровня ударного шума с увеличением расстояния между подвесным потолком и несущей частью перекрытия и с повышением массы самого потолка. С целью снижения силы звука подвесной потолок рекомендуется выполнять гибким. В промежутке между подвесным потолком и перекрытием следует укладывать звукопоглощающие с открытой пористостью материалы, чтобы не ухудшать жесткости подвесного потолка на изгиб. Действие подвесного потолка, как и всех двухслойных систем, в большей или меньшей степени зависит от наличия даже небольших акустических мостиков. Поэтому подвесной потолок следует подвешивать в наименьшем количестве точек и на пружинных подвесках. На рис. 161 показаны некоторые конструктивные особенности потолков. Устройство поддерживающей перекрестной несущей обрешетки обеспечивает точечный контакт подвесного потолка с перекрытием и поэтому оказывает положительное

влияние. Боковые примыкания подвесного потолка к стенам должны быть плотными.

Бетонируемые и оштукатуриваемые легкие древесностружечные плиты, устраиваемые в виде опалубки, в отношении звукоизоляции от ударного шума действуют отрицательно (с. 143).

Поскольку в литературе подвесные потолки часто описываются вместе с массивными плитами перекрытий, следует обратить внимание на то, что нормативный уровень звукоизоляции от ударного шума таких конструкций благодаря применению подвесных потолков относительно сильно (прежде всего в зоне высоких частот) отличается от нормативного уровня звукоизоляции «нормальных» массивных перекрытий. Поэтому, безусловно, при его определении следует пользоваться эквивалентными величинами звукоизоляции от ударного шума. При правильном учете акустических требований высокое значение звукоизоляции может быть достигнуто без устройства плавающих полов только применением конструкций подвесного потолка. На рис. 164 показан такой пример. Если подвесной потолок устроен под чердачным перекрытием, то вследствие замкнутости воздушной прослойки это может привести к образованию конденсата.

4. **Деревянные балочные перекрытия.** Звукоизоляция деревянных балочных перекрытий зависит, в первую очередь, от того, насколько хорошо удалось уменьшить перенос звука через балки. Поэтому как верхняя, так и, возможно, нижняя оболочки должны быть упругим способом отделены от балок. Тяжелая песчаная засыпка, повышающая массу конструкции перекрытия, действует на его звукоизолирующую способность положительно. При правильном устройстве песчаной засыпки непосредственно под полом в качестве постели для лаг при небольших требованиях к звукоизоляции от ударного шума можно отказаться от дополнительных конструктивных мероприятий по отделению оболочек от балок (см. рис. 194, *а*).

ТРЕБОВАНИЯ И ОЦЕНКА

Требования к звукоизоляции от ударного шума, как и от воздушного шума, устанавливаются DIN4109. Для нового строительства они учитывают снижение во времени уменьшающего ударный шум действия плавающих полов путем увеличения на 3 дБ значения звукоизоляции от ударного шума. Таким образом до некоторой степени гарантируется соответствие конструкции минимальным требованиям даже после длительной эксплуатации (см. табл. 5 приложения).

Эти минимальные требования остаются еще ниже требований, предъявляемых к игровым комнатам. Так, даже при соблюдении предложений о повышенной звукоизоляции перекрытий шум шагов под ними можно еще слышать. Правда, в новом издании DIN4109 можно ожидать повышения требований к звукоизоляции от ударного шума.

DIN4109 дает возможность разделить несущие перекрытия на две группы. Перекрытия первой группы не обладают достаточной звукоизоляцией ни от воздушного, ни от ударного шума, в то время как несущие перекрытия второй группы должны соответствовать минимальным требованиям по звукоизоляции от воздушного шума. В соответствии с этим появляется возможность разделить на две группы и верхние покрытия пола, причем покрытия первой группы повышают звукоизоляцию от воздушного и ударного шума несущих частей перекрытий первой группы, а покрытия второй группы повышают звукоизоляцию несущих частей перекрытий второй группы. Вся конструкция имеет тогда расчетную величину звукоизоляции $R'_w \geqslant 52$ дБ и величину звукоизоляции от ударного шума ЗУШ $\geqslant$ $\geqslant \pm 0$ дБ.

Для определения величины звукоизоляции от ударного шума должны быть выполнены дополнительно следующие указания. Предписания ISO (ISO/R717) требуют при определении величины звукоизоляции от ударного шума M_i соблюдения максимальных отклонений при треть-октавном измерении — 8 дБ, при октавном — 5 дБ. Поэтому величина звукоизоляции от ударного шума, которые были определены по этим указаниям (величины звукоизоляции от ударного шума $E_у$ по TGL10688 к ним не относятся, см. табл. 6 приложения), ни при каких обстоятельствах не оказываются хуже, чем величины звукоизоляции от ударного шума ЗУШ, определенные по DIN4109.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

3, 10, 13, 14, 95, 96, 113, 114, 139, 141, 144, 147, 150, 151, 156, 157, 158, 188, 189, 324, 356, 358.

ПРИМЕРЫ

Чтобы в соответствии с заданием на проектирование сконструировать перекрытие, отвечающее требованиям по звукоизоляции от ударного шума, необходимо располагать инструментом, который сделал бы возможным проверку выполнения или невыполнения этих требований. Они, как правило, регламентируются DIN4109, но в определенных случаях заказчик формулирует повышенные или рассчитанные на особые условия эксплуатации требования.

А. **Применение известной конструкции.** Этот способ во многом зависит от материала основания или от свойств известной конструкции и не рассматривается подробно.

В. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕЛЕНИЯ ПЕРЕКРЫТИЙ НА ГРУППЫ

Задание. В многоэтажном жилом доме междуэтажные перекрытия (рис. 162) должны удовлетворять минимальным требованиям DIN4109.

Решение. 1. Требуемая величина звукоизоляции — См. табл. 5 приложения

$ЗУШ_{общ} \geqslant \pm 0$ дБ; $R'_{общ} \geqslant 52$ дБ

2. Выбор конструкции перекрытия (рис. 162): — [324]
   выбирается несущая плита перекрытия по первой группе — перекрытие из сборных железобетонных балок с вкладышами из легкого бетона общей толщиной 21,5 см;
   покрытие пола: верхнее строение перекрытия выбирается из первой группы покрытий — цементная стяжка толщиной 4 см по легкой древесноволокнистой плите толщиной 2,5 см и по мату из стекловолокна толщиной 0,5 см; — [324]
   настил пола выбирается в соответствии с условиями эксплуатации помещения — однослойный линолеум на клею.

3. Определение величины звукоизоляции всей конструкции:
   проверка звукоизоляции не требуется, так как при комбинировании несущих частей и верхних строений перекрытий из каталога групп перекрытий выполнение минимальных требований по звукоизоляции от воздушного и ударного шума обеспечивается.

4. Комментарий:
   простой и надежный способ, который обеспечивает достижение хороших результатов. Однако его следует применять, если к конструкции предъявляются лишь минимальные требования.

С. Проектирование звукоизоляции с использованием констант (справочных данных)

Задание. Для одноквартирного дома рядовой застройки должна быть определена конструкция междуэтажного перекрытия (рис. 163), которая бы соответствовала требованиям повышенной звукоизоляции.

Решение 1. Требуемая величина звукоизоляции: — См. табл. 5 приложения

$ЗУШ_{общ} \geqslant +10$ дБ; $R_{общ} \geqslant 55$ дБ.

2. Выбор конструкции перекрытия:
   несущая часть перекрытия — железобетонная плита толщиной 14 см, оштукатуренная снизу:

   $ЗУШ_{экв} = -10$ дБ; — См. рис. 195, *а*

   стяжка — цементная толщиной 4,5 см по легким древесноволокнистым плитам толщиной 2,5 см и промасленной бумаге

   $ВУ_{ц.ст} = 19$ дБ; — См. рис. 197, *е*

   покрытие пола — поливинилхлоридное по шерстяному войлоку — См. рис. 198, *е*

   $ВУ_п = 19$ дБ

3. Определение величины звукоизоляции всей конструкции перекрытия:
   корректирующий коэффициент

   $ВУ_{ц.ст} - ВУ_п = 19 - 19 = 0$ дБ; — См. табл. 26

   $ВУ_{ц.ст} = 19$ дБ;

   отсюда следует

   $k = 1$ дБ

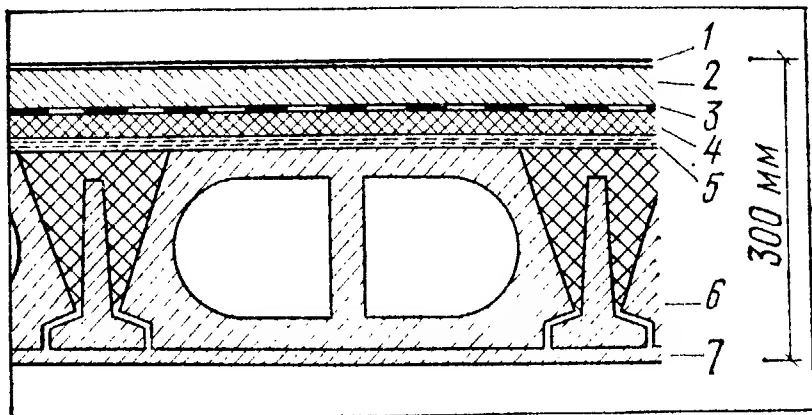


Рис. 162. Конструкция перекрытия (к примеру B)

1 — линолеум, 5 мм; 2 — цементная стяжка, 40 мм; 3 — битуминизированный картон М-333; 4 — легкая древесноволокнистая плита, 25 мм; 5 — нетканый войлок из стекловолокна, 9 мм; 6 — железобетонные балки и заполнение, 200 мм; 7 — штукатурные покрытия, 15 мм

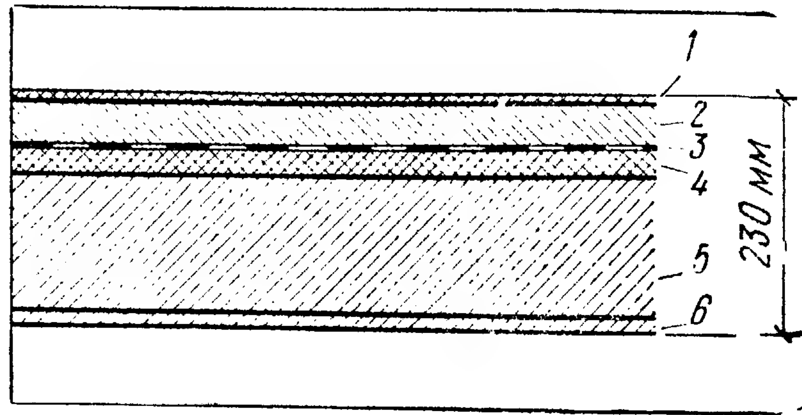


Рис. 163. Конструкция перекрытия (к примеру C)

1 — ПВХ на войлоке, 5 мм; 2 — цементная стяжка, 45 мм; 3 — промасленная бумага; 4 — легкая древесноволокнистая плита, 25 мм; 5 — железобетонная плита, 140 мм; 6 — штукатурка перекрытия, 15 мм

Величина звукоизоляции от ударного шума ЗУШ$_{общ}$: ЗУШ$_{общ}$=ЗУШ$_{экв}$+ВУ$_{ц.ст}$+k; ЗУШ$_{общ}$=−10+19+1; ЗУШ$_{общ}$=+10 дБ.	См. формулы (111). (112)
Приближенное определение расчетной величины звукоизоляции $R_{w_{общ}}$: расчетная величина звукоизоляции только несущей плиты перекрытия составляет $R_{w_{н.п.}}=52$ дБ	См. рис. 121
Ожидаемое увеличение звукоизоляции второй оболочки за счет жесткого промежуточного слоя составляет около 2 дБ. Таким образом, расчетная величина звукоизоляции всей конструкции перекрытия составляет $R'_{w_{общ}}\approx 54$ дБ.	См. рис. 128
4. Комментарий: требуемые значения звукоизоляции соблюдаются или превышаются. Однако полученный результат не допускает никакого учета акустических ослаблений конструкции (пиков в нормативной кривой уровня ударного шума).	

D. Проектирование звукоизоляции с использованием нормативных кривых уровня ударного шума и кривых снижения уровня

Задание. Проверка величины звукоизоляции от ударного шума ЗУШ$_{общ}$ конструкции перекрытия (рис. 164) над залом заседаний авторемонтного предприятия. Из-за особых конструктивных условий следует выполнить как можно более точную проверку. По требованию заказчика звукоизоляция перекрытия от воздушного и ударного шума должна соответствовать предложениям DIN 4109 по повышенной звукоизоляции.

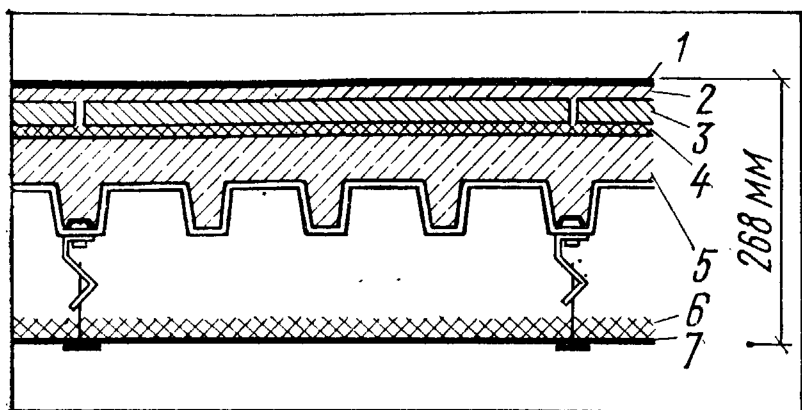


Рис. 164. Конструкция перекрытия (к примеру *D*)

1 — ПВХ 3,5 мм; *2* — цементный раствор (выравнивающий слой), 12 мм; *3* — легкий бетон, 30 мм; *4* — войлочный мат из битуминизированной пробки, 7 мм; *5* — железобетон в стальной складчатой опалубке, 100 мм; *6* — мат из стекловолокна, 20 мм; *7* — асбестоцементный лист, 8 мм

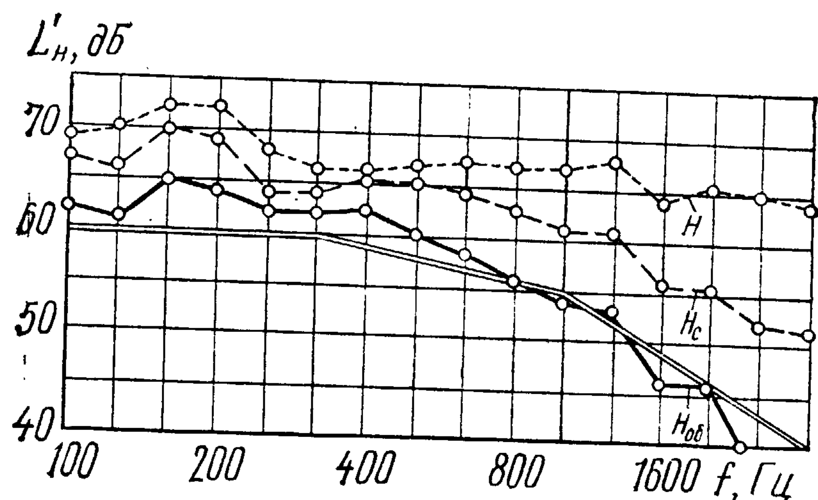


Рис. 165. Нормативный уровень ударного шума несущей части и всего перекрытия

Н — нормативная кривая уровня ударного шума несущей части перекрытия; *Нс* — нормативная кривая уровня ударного шума несущей части перекрытия со стяжкой; *Ноб* — нормативная кривая уровня ударного шума всей конструкции перекрытия

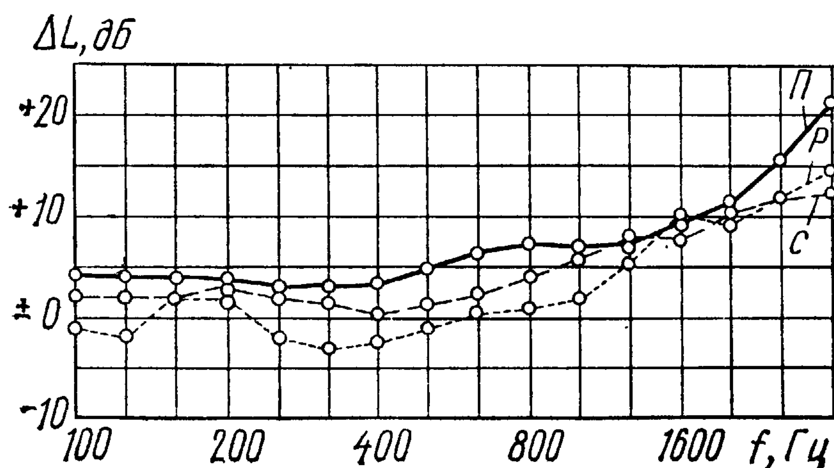


Рис. 166. Уменьшение ударного шума за счет покрытия пола

П — кривая уменьшения ударного шума за счет настила; *С* — то же, за счет стяжки; *Р* — разностная кривая

Решение. 1. Требуемая величина звукоизоляции:

$$ЗУШ_{общ} \geqslant +10 \text{ дБ};$$

$$R'_{w}{}' w_{общ} \geqslant 55 \text{ дБ}.$$

См. табл. 5 приложения

2. Учет конструкции перекрытия:

несущая часть перекрытия — железобетонное перекрытие с трапециевидной нижней стороной из листового железа и подвесной потолок из асбестоцемента. Эквивалентная величина звукоизоляции от ударного шума этого перекрытия $ЗУШ_{экв}$ составляет — 12 дБ; нормативная кривая уровня ударного шума приведена на рис. 165;

приведенный ниже этап необходим лишь для настоящих условий. Определение треть-октавных разностей $\Delta L_{разн}$ между фактическими нормативными значениями уровня ударного шума несущей части перекрытия и соответствующими значениями базовой кривой (в данном случае для +10 дБ). Нанесение разностей на диаграмму (рис. 166). Образующаяся таким образом кривая $\Delta I_{разн}$ служит сравнительной кривой для искомого верхнего строения перекрытия. Каждый вариант покрытия, кривая снижения ударного шума которого лежит выше сравнительной кривой $\Delta I_{разн}$ могла бы в определенной степени улучшить несущую часть перекрытия;

верхнее строение перекрытия состоит из легкобетонной плиты и выравнивающей стяжки из цементного раствора, поверх которой уложено поливинилхлоридное покрытие. Кривые уменьшения ударного шума $\Delta l_с$ и $\Delta l_п$ нанесены на диаграмму. Величины улучшения звукоизоляции слоев составляют 9 и 11 дБ. Определяются кривые уменьшения ударного шума $\Delta l_{общ}$ всего верхнего строения, значения уменьшения ударного шума $\Delta L_с$ и $\Delta L_п$ с интервалом в треть-октавы складываются и наносятся на диаграмму.

См. рис. 197, *з*
См. рис. 198, *б*

3. Определение величины звукоизоляции всей конструкции:

установление нормативного уровня кривой ударного шума $l_{н_{общ}}$ всей конструкции:

из нормативных уровней ударного шума несущей части перекрытия треть-октавного вычитаются значения уменьшения шума верхнего строения перекрытия. Получается нормативная кривая уровня всей конструкции $l_{н_{общ}}$;

величина звукоизоляции от ударного шума $ЗУШ_{общ}$: путем сравнения со сдвинутой базой кривой определяется величина звукоизоляции от ударного шума всей конструкции

См. рис. 150, 151

$$ЗУШ_{общ} = +10 \text{ дБ};$$

приближенное определение расчетной величины звукоизоляции $R'_{w_{общ}}$: расчетная величина звукоизоляции конструкции составляет 58—59 дБ, поскольку несущая часть перекрытия с подвесным потолком уже обладает расчетной звукоизоляцией $R'_{w_{н.\,п.}} = 57$ дБ.

См. рис. 121

4. Комментарий:

конструкция перекрытия удовлетворяет предъявляемым требованиям. Этот дорогой способ оказывается необходимым, поскольку кривые звукоизоляции как несущей, так и верхней части перекрытия сильно отличаются от нормативных. Так, полученное путем сложения табличных величин значение $ЗУШ_{общ}$ оказалось бы равным ± 0 дБ.

См. рис. 26

ПЕРЕНОС ЗВУКА КОСВЕННЫМИ ПУТЯМИ

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При проектных разработках вместе с вопросами звукоизоляции от воздушного и ударного шумов рассматривается возможность переноса звука косвенными путями. Это относится к стенам (особенно к двухслойным боковым), перекрытиям и покрытиям пола, однослойным перекрытиям, сквозным плавающим полам и особенно подвесным потолкам, а также лестницам, балконам и террасам.

1. Понятия и основные величины. При определении необходимой звукоизоляции от воздушного и ударного шума всегда исходили из того, что производимый в помещении шум переносится только через

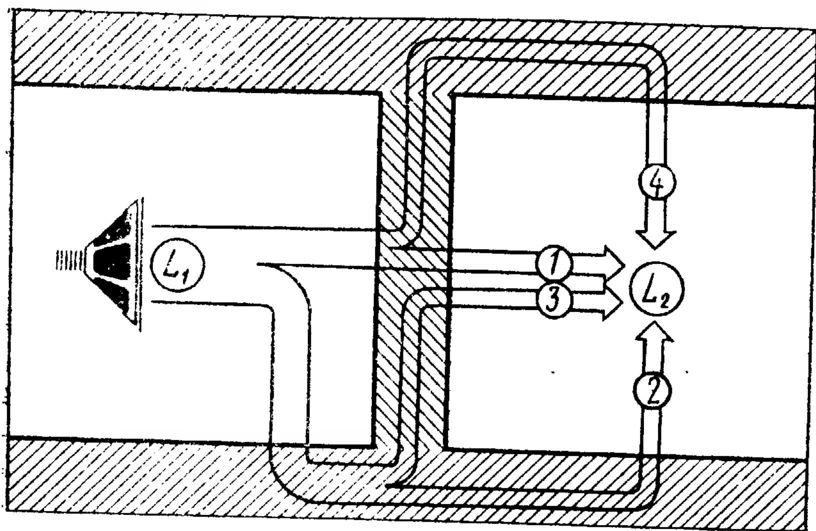


Рис. 167. Пути переноса звука

окружающие его конструкции. Однако колебания возбуждаются воздушным шумом не только в разделяющих помещения конструкциях, но и во всех ограждающих помещение конструкциях. Ударный шум также распространяется в конструкциях, которые находятся с возбужденным (вследствие воздействия шума) перекрытием в непосредственной связи. Для обоих случаев было уже отмечено, что непосредственно в конструкции распространяется корпусной шум, и если он не поглощается, то возникает в других местах. Когда конструкция сбоку примыкает к другим конструкциям, происходит фланговый перенос звука. В настоящей главе рассматриваются три основные величины, которые влияют на фланговый перенос звука и тем самым на боковую звукоизоляцию.

Пути, по которым звук из одного помещения может быть передан в другое, представлены на рис. 167. Из рисунка видно, что пути переноса могут быть четко отделены один от другого. Часть воспринимаемой разделяющей поверхностью звуковой мощности излучается через боковые конструкции и возвращается. Поэтому очень трудно представить себе точную расчетную схему. Применение измерительной техники, которая позволила бы произвести количественную оценку отдельных частей переносимого звука, связано с большими затратами. Однако при упрощенном рассмотрении первого и второго путей переноса может быть установлено следующее.

Если разделяющая конструкция имеет высокую звукоизолирующую способность, то звукоизоляция через боковые косвенные пути должна быть такой же, как и самой ограждающей конструкции. При этом представляет интерес площадь поверхности, воспринимающей и излучающей звуковую энергию. С учетом того, что воспринимающие и отдающие звук поверхности имеют равные величины, может быть сформулировано следующее отношение:

$$R = R_2 + 10 \lg \frac{S_р}{S_б}, \qquad (116)$$

где R — величина общей звукоизоляции, которая не может быть превышена, дБ; R_2 — величина звукоизоляции через второй путь; $S_р$ и $S_б$ — площади поверхностей разделяющей и боковой конструкций на громкой стороне.

Это означает, что с увеличением поверхности боковой конструкции ее звукоизоляция должна становиться больше, если общая звукоизоляция не ограничивается. Поскольку в большинстве случаев соотношение площадей поверхностей $S_р/S_б$ составляет примерно $1/4$, величина звукоизоляции R_2 должна быть приблизительно на 6 дБ больше, чем величина звукоизоляции разделяющей конструк-

ции. Из-за этого влияния на общую звукоизоляцию конструкции величина звукоизоляции R_2 представляет собой естественную границу достижимой звукоизоляции и поэтому часто называется в литературе граничной величиной звукоизоляции. Последняя зависит от вида конструкций и способа возведения здания. В зависимости от обстоятельств она может быть измеряемой, средней или расчетной величиной. Несмотря на свое значение из-за высокой стоимости измерений, в настоящее время имеется лишь немного данных о величинах фланговой звукоизоляции для различных видов зданий, так что во многих случаях приходится учитывать только принципиальные рекомендации.

Наряду с переносом звука через боковые конструкции происходит распространение звука в промежутках двухслойных стен и конструкций подвесных потолков. Перенос части звука, который может попадать этими путями в соседнее помещение, также следует относить к косвенным путям переноса. В противоположность описанному переносу речь идет о распространении воздушного звука. Поэтому для такого пути действуют известные закономерности распространения звука. Теоретические предпосылки ограничиваются представлением о возможностях воздействия звука через боковые конструкции вторым путем.

При боковом переносе звука через конструкции речь идет о передаче корпусного шума. Изоляция, которая должна воспринимать корпусной шум, зависит от вида и способа, какими звук попадает в конструкцию, распространяется в ней и, наконец, покидает ее. Поэтому относительно бокового переноса звука следует различать возбуждение воздушного и ударного шума, так как в последнем случае корпусной шум возникает непосредственно в конструкции.

При возбуждении воздушного шума распространяющийся в теле конструкции корпусной шум зависит от величины возбуждения изоляции R_ε. Соответственно при излучении следует учитывать величину излучения изоляции R_σ.

В случаях, когда излучающие и возбуждающие поверхности примерно равны, действуют те же соотношения, что и при передаче звука через конструкцию. Поэтому упрощенно это может быть выражено соотношением

$$R_б = R_\varepsilon + R_\sigma, \tag{117}$$

где $R_б$ — величина звукоизоляции боковой конструкции в перпендикулярном ей направлении, дБ.

Этот случай, который соответствует приблизительно равным поверхностям, принимается для дальнейших рассуждений.

В том месте, где боковая конструкция пересекается перегородкой или упирается в нее, уровень скорости корпусного звука снижается. Таким образом, возникает разность скоростей звука D_v (дБ) перед местом упора и сзади него или пересечения конструкций:

$$D_v = L_{v_1} - L_{v_2}. \tag{118}$$

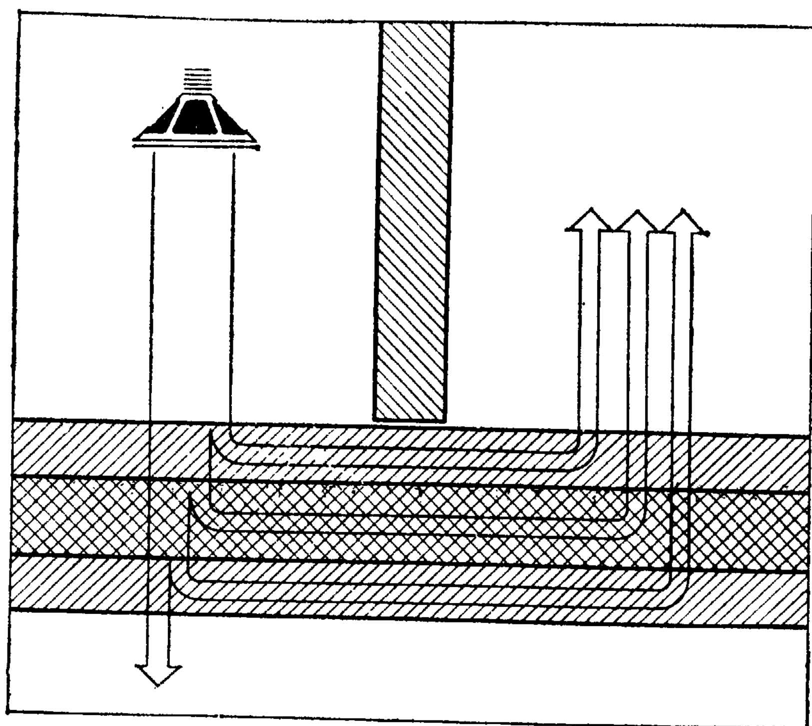


Рис. 168. Пути переноса звука через двойную примыкающую конструкцию

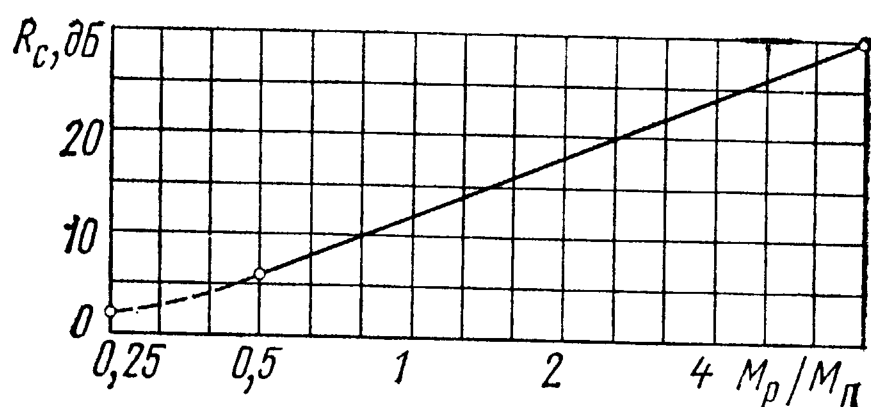


Рис. 169. Звукоизоляция стыков R_c в зависимости от соотношения массы 1 м^2 поверхности разделяемой ($M_р$) и примыкающей ($M_п$) конструкций [142]

Эта разность, как и разность уровней звука при звукоизоляции от воздушного шума, зависит не только от вида пересечений или стыкования конструкций, но и от всей конструкции, включая размеры поверхностей. При дальнейшем рассмотрении следует с целью упрощения исходить из того, что разница уровней скорости приравнивается к величине звукоизоляции стыка или места пересечения конструкций R_c.

Четвертой и последней величиной, влияющей на боковую звукоизоляцию, является затухание распространения корпусного шума в материале. Поэтому величина боковой звукоизоляции в конечном итоге складывается из величин возбуждения и излучения, образующих большую часть боковой звукоизоляции $R_б$, звукоизоляции стыка R_c и внутреннего затухания $D_в$:

$$R_2 = R_\varepsilon + R_\sigma + R_c + D_в. \qquad (119)$$

2. **Боковая звукоизоляция конструкций**. Затухание корпусного шума $D_в$ в обычных материалах так невелико, что при дальнейшем рассмотрении им можно пренебречь. Относительно возбуждения и излучения изоляции существует точка зрения, которая обсуждалась при рассмотрении звукоизоляции конструкций от воздушного шума. Отсюда, а также из высказанных выше соображений следует, что величина боковой звукоизоляции точно так же, как и величина звукоизоляции в направлении поперек конструкции, зависит от массы поверхности. Кроме того, в уравнении (119) предполагается, что речь идет об однослойной конструкции. Для двухслойной конструкции соотношение значительно сложнее. Рис. 168 показывает возможные пути переноса звука через двухслойную конструкцию.

Очевидно, что перенос звука через внутреннюю оболочку в принципе соответствует уравнению (119) в то время, как при передаче звука через наружную оболочку как бы дважды следует учитывать резонанс второй оболочки.

Звукоизоляция стыка определяется тем, что звуковая волна, которая распространяется в боковой конструкции, теряет энергию в стыке и переходит в примыкающую конструкцию. При этом пере-

нос звука тем больше, т. е. изоляция места стыка должна быть тем лучше, чем теснее связь между стыкуемыми конструкциями и чем больше величина отношения масс разделяющей и боковой конструкций:

$$R_{ст} = 20 \lg \frac{M_п}{M_б} + 12. \qquad (120)$$

Эта зависимость [142] сохраняется для пересечения однослойных конструкций, если отношение масс $M_п/M_б$ больше, чем 1 : 2. Начиная с отношения 1/4 и меньше звукоизоляция места стыка остается постоянной (рис. 169). Диаграмма по своему смыслу может быть применена для двухслойных боковых конструкций, если учитывается лишь масса внутренней поверхности оболочки, т. е. оболочки, непосредственно примыкающей к ограждению (см. также рис. 182, *б*).

Наконец, из уравнения (120) можно сделать вывод о том, что изоляция стыка пересекающихся конструкций из-за более высокой массы разделяющей конструкции лучше, чем в случаях, когда разделяющие конструкции имеют Т-образный стык. При использовании этого положения следует, однако, иметь в виду, что с улучшением изоляции места стыка повышается уровень скорости звука в разделяющей конструкции и при соответствующем излучении частично сводится на нет добавка к общей звукоизоляции.

УКАЗАНИЯ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ

Приводимые ниже рекомендации касаются проблемы звукоизоляции от воздушного и ударного шума, который возникает вследствие переноса звука косвенными путями. Поэтому в качестве дополнения к рекомендациям следует принять положения, рассмотренные ранее, или положения, которые будут рассматриваться в разделе о звукоизоляции инженерного оборудования.

1. **Стены**. Фланговая звукоизоляция легких стен (перегородок) является часто причиной небольшой граничной величины звукоизоляции. Из-за низкой массы поверхности заведомо не может быть достигнута большая величина фланговой звукоизоляции, если для этого не были приняты особые мероприятия. При этом жесткие конструкции из-за присущей им высокой способности к излучению особо неблагоприятны. Это относится к конструкциям, у которых боковые стены двухслойные. Такой случай отмечается, например, для легких сквозных двухслойных навесных фасадных стен.

В особых случаях изолирующая способность боковых конструкций к излучению может быть повышена путем заполнения песком. Можно также попытаться повысить фланговую изоляцию, используя как можно более высокую изоляцию стыка. Правда, благодаря этому повышается уровень излучаемой конструкцией перегородки мощности звука и таким образом положительный эффект вновь не-

сколько возрастает. Из-за большой опасности трещинообразования в этом месте и связанного с ним ухудшения изоляции стыка это мероприятие представляет собой очень рискованное решение. Поэтому в большинстве случаев рекомендуется, как минимум, прерывать обращенную к перегородке боковую конструкцию, а на месте стыка устраивать шов.

Перенос звука через промежуток между оболочками не исключен (см. рис. 168), поэтому необходимо предусмотреть его заполнение. Стык можно выполнить таким образом, чтобы перегородка входила в промежуток между слоями; можно также установить в этом месте стойку.

В любом случае рекомендуется заполнять промежуток пористым поглощающим материалом, чтобы избежать распространения звука в промежутке между оболочками.

2. **Подвесные потолки**. При передаче воздушного шума косвенными путями через конструкции подвесных потолков возникает аналогичная ситуация. Если гибкая и легкая оболочка подвесного потолка проходит над перегородкой, это приводит к фланговому переносу звука, как у двухслойных стен. Соответственно и конструктивные мероприятия оказываются такими же (рис. 170).

В случае когда подвесной потолок прерывается только в зоне перегородки, масса поверхности его оболочки должна быть как можно больше, чтобы с помощью двойной изоляции от воздушного шума как можно сильнее ограничить перенос звука через промежуток между оболочками. Звукоизолирующий подвесной потолок может оказаться необходимым также из-за наличия вентиляционных каналов в зоне перекрытия. Однако из-за значительной массы поверхности изгибную жесткость нижней оболочки приходится увеличивать настолько сильно, чтобы преимущества повышения массы не были сведены на нет вследствие увеличенного излучения звука.

3. **Плавающие полы**. Простейший прием обеспечения звукоизоляции перекрытия от ударного шума — устройство плавающих полов. Чтобы предотвратить продольную передачу ударного и воздушного шума, стяжка между двумя помещениями должна быть прервана, так как в противном случае величина предельной звукоизоляции даже при очень хорошо изолированных перегородках сильно уменьшается (рис. 171) В нормальном случае перегородку следует ставить на несущее перекрытие таким образом, чтобы плита стяжки прерывалась только в зоне дверных проемов. Разрыв стяжки предлагается выполнять в этой зоне вместе с установкой уплотняющего профиля, что могло бы намного улучшить звукоизоляцию дверей.

В случаях, когда применяются легкие, но хорошо изолированные перегородки, которые при необходимости можно демонтировать, стяжку в местах установки перегородок следует разделять. При этом оказывается, что проектирование вариабельно используемых планов этажей не ограничивается созданием больших площадей. Проблему следует решать путем конструирования соответст-

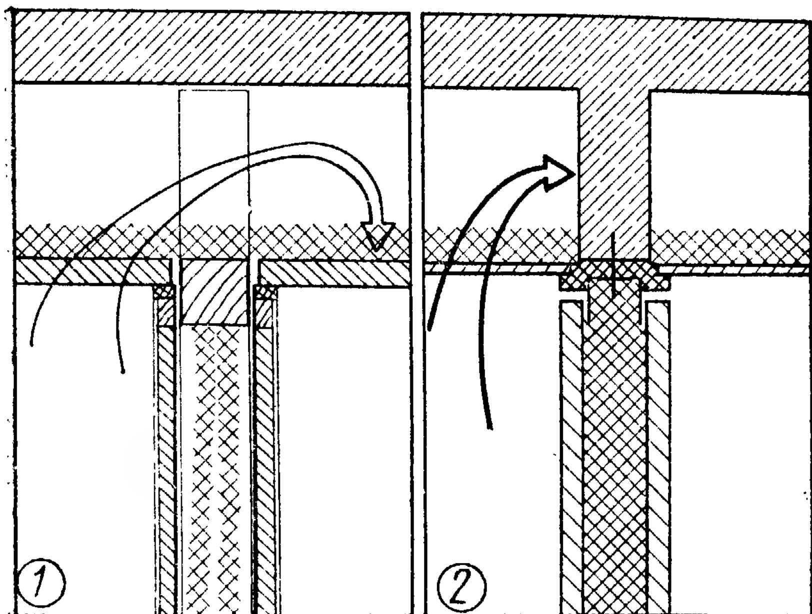


Рис. 170. Пресечение косвенного пути переноса звука при подвесных потолках

1 — прерывание конструкции подвесного потолка; *2* — перегораживание промежутка между несущей частью перекрытия и подвесным потолком

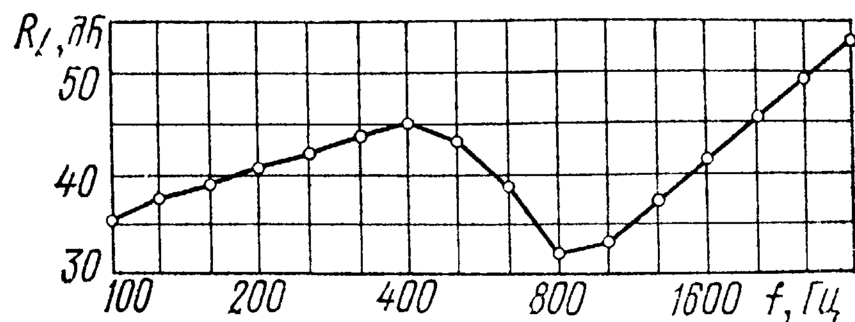


Рис. 171. Максимально достижимая величина звукоизоляции высококачественной перегородки при сквозной стяжке [14]

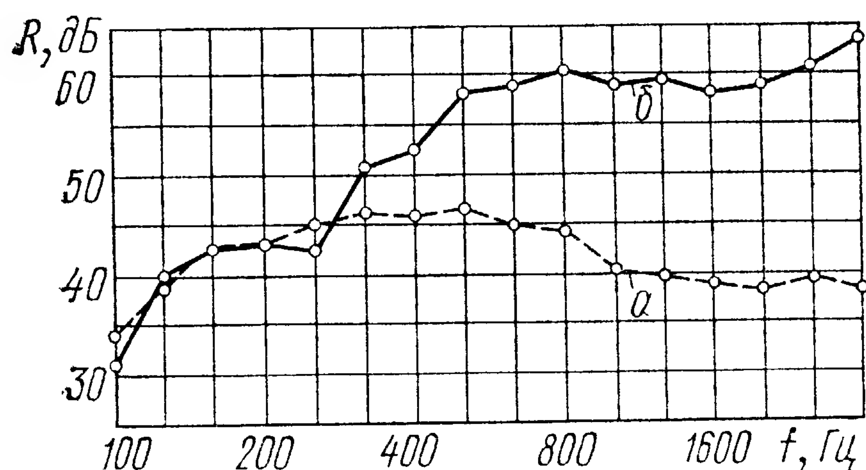


Рис. 172. Звукоизоляция перегородки с гасителем шума в нижней точке

а — перегородка с «нормальной» нижней стороной; *б* — перегородка с гасителем шума (по принципу резонатора Гельмгольца) [14]; *1* — резонансная камера со звукопоглощающим материалом; *2* — отверстия; *3* — крышка; *4* — ковровое покрытие пола; *5* — стяжка или несущая часть перекрытия

вующего профиля пола и нижнего примыкания стены, но при этом не всегда удается достичь образования сплошной (сквозной) поверхности пола.

В исключительных случаях величина фланговой изоляции стыка может быть повышена вследствие значительного давления стен на плиту стяжки (достаточно прочную).

4. Ковровые покрытия пола. Во многих случаях для обеспечения звукоизоляции от ударного шума достаточно применить ковровое покрытие пола. Если на таких полах должны быть установлены перегородки, причем таким образом, чтобы под ними не слишком пострадали ковровые покрытия, проблемой становится предотвращение переноса воздушного шума через шов. Gösele [140] предложил, во избежание переноса звука через этот шов, нижнюю кромку перегородки выполнять с устройством звукопоглотителя. При этом на нижней стороне перегородки выполняют отверстия определенной величины; специально оставляемое для этой цели пространство в нижней зоне перегородки заполняется звукопоглощающим материалом (рис. 172). Такое мероприятие может привести к соответствующему улучшению звукоизоляции от воздушного шума и при устройстве дверей.

5. Балконы и лестницы. Часто забывают, что к балконам в акустическом отношении следует предъявлять такие же требования, как и к другим перекрытиям, находящимся внутри здания. При не-

достаточной изоляции от ударов шума сплошных, выступающих консольно плит балкона возможен диагональный перенос звука. Так как балконы или террасы значительной площади часто используются как свободные игровые площадки для детей, эта проблема приобретает особо важное значение.

Это же замечание при больших нагрузках относится и к лестницам, особенно когда в результате неудачного планировочного решения спальни и рабочие комнаты находятся рядом с лестничной клеткой. В обоих случаях необходимо обратить внимание на то, чтобы вести строительство сразу с учетом максимального снижения уровня ударного шума и чтобы подверженные таким воздействиям конструкции уже при их возведении отделялись (из акустических соображений) от остальных конструкций швами и мягкими изоляционными слоями. Для снижения уровня шума в лестничных клетках рекомендуется применять звукопоглощающие материалы.

ТРЕБОВАНИЯ И ОЦЕНКА

Требования к переносу звука косвенными путями, особенно к предотвращению продольной передачи звука конструкциями, устанавливаются DIN4109. Они ограничиваются в основном применением минимально допустимых масс боковых примыкающих конструкций. Особая оценка фактического переноса звука косвенными путями не предусматривается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

3, 6, 10, 14, 108, 109, 110, 116, 142, 145, 148, 190, 289, 324, 356.

Пример. Из-за большого числа противоречивых факторов, определяющих перенос звука косвенными путями, которые не могут быть охвачены расчетными предпосылками или охвачены в небольшой степени, от примера приходится отказаться. Еще раз адресуем читателя к указаниям по конструированию данного раздела.

ИНЖЕНЕРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЗДАНИЯ

ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В этой главе следует коснуться проблем, которые возникают вследствие оборудования здания техническими средствами и устройствами. При этом поскольку большая часть явлений и связанных с ними понятий известна из предыдущих глав, необходимо остановиться лишь на том, как предотвратить или ограничить возникновение воздушного или корпусного шума, связанного с оборудованием здания.

Инженерное оборудование всех видов проектируется, как правило, соответствующими специалистами. При обсуждении и оценке особых акустических проблем задачи и ответственность архитек-

торов и специалистов-инженеров тесно переплетаются между собой, взаимно дополняя и влияя друг на друга.

Многие обсуждаемые проблемы ставятся при этом совместно. Брак и дефекты в построенных зданиях возникают тогда, когда архитектор и специалист-инженер оставляют решение взаимосвязанных вопросов друг другу. Совместная работа при проектировании инженерного оборудования является непременным условием успеха; особенно четкого согласования требуют такие проектные мероприятия, которые связаны с установкой инженерного оборудования, встраиваемого в конструкцию здания. В частности, приведенные ниже проектные задачи решаются преимущественно архитекторами.

Архитектурно-планировочные решения: объединение шумных зон; разделение шумных и чувствительных к шуму зон.

Санитарно техническое оборудование: выбор подходящей архитектуры; проектирование звукоизолирующих проходов труб; проектирование изолирующих от корпусного шума креплений для труб; проектирование звукоизолирующих примыканий к конструкциям полов и стен.

Лифтовое оборудование: проектирование звукоизоляции от воздушного шума машинных и лифтовых шахт.

Трансформаторные подстанции: проектирование звукоизолирующих ограждающих конструкций.

Устройства для приемки мусора: проектирование изолированных от корпусного шума конструкций шахт.

Жалюзи: проектирование способных к глушению звука направляющих и ограничителей.

Следующие проектные задачи решаются преимущественно инженерами.

Машины: проектирование звукоизоляции машин от корпусного шума.

Вентиляционные установки: проектирование заслонки и сечения канала для регулирования скорости потока.

Лифтовые установки: проектирование звукоизоляции от корпусного шума машин и направляющих в лифтовой шахте.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Возникновение шума. 1.1. Шум от работы машин. У электромоторов вид шума зависит от скорости вращения и от возможного дебаланса. При этом следует иметь в виду, что у машин, которые работают с перерывами, скорость вращения изменяется при пуске и остановке. В принципе всегда возникает более или менее сильный стук подшипников. Уровень громкости звука зависит при этом от мощности двигателя. Следует обратить внимание на шум от работы насосов и горелок отопительных установок.

1.2. Шумы, связанные с движением жидкости или воздуха, представляют собой вторую группу шумов. Расчетный уровень звука

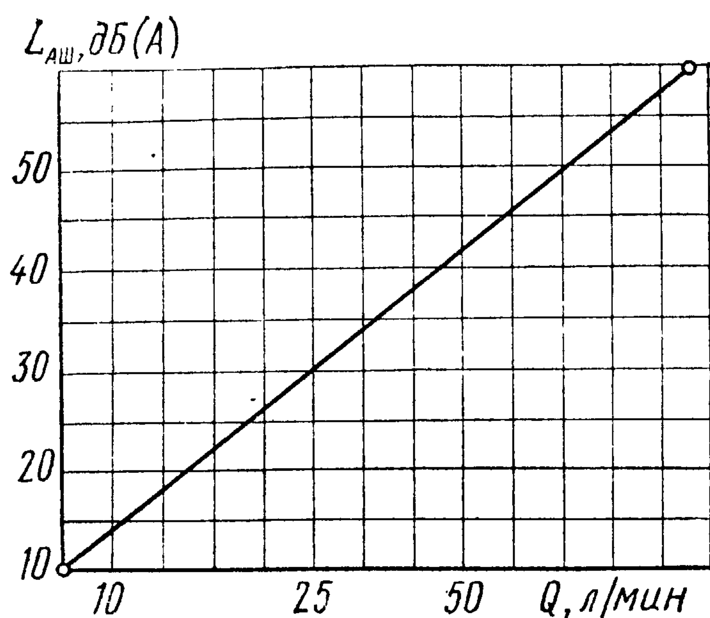


Рис. 173. Уровень шума арматуры в зависимости от расхода жидкости при открытом вентиле (по *Gösele / Voigtsb rger***)**

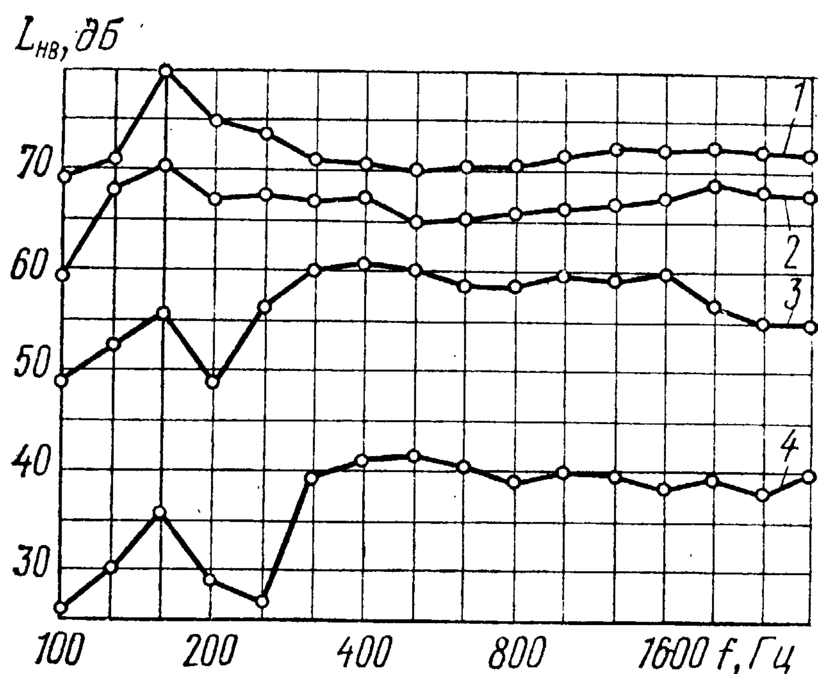


Рис. 174. Шум от наполнения ванны [201]

1, 2 — при высоте падения струи соответственно 80 и 40 см; *3* — то же, от прижатой к стенке струи; *4* — от ручного душа на пол ванной

(А) в каналах вентиляционных систем зависит от скорости движения воздуха. В оборудовании для водоснабжения основной источник шума — истечение воды. Здесь уровень шума повышается с увеличением расхода, т. е. при данных сечениях трубопроводов с увеличением напора. Такие шумы возникают как в системе трубопроводов, так и в арматуре. Они могут усиливаться вследствие образования вихрей и явлений кавитации. На рис. 173 показан ожидаемый уровень шума в арматуре $L_{а.ш}$ в зависимости от расхода воды.

1.3. Прочие источники шума. Обычные бытовые эксплуатационные шумы могут переноситься через вентиляционные шахты. В системе водоснабжения возникают другие шумы, которые связаны с заполнением водой емкостей, например, от удара струи (высота падения и угол удара), а также от вида наполняемого сосуда (рис. 174). При выпуске воды наряду с шумом от истечения возникает также шум от завихрения в горловине. Наконец, образуется шум от качения и скольжения деталей, от соударения деталей машин, лифтовых подъемников и жалюзи, а также в устройствах для мусороудаления.

2. Изоляция от корпусного шума, возникающего при работе машин. Шум от машин в конструкциях, на которых или в которых машины укреплены, может излучаться как в виде воздушного, так и в виде корпусного шума. Возбуждение в конструкциях корпусного шума происходит аналогично тому, как это было отмечено при рассмотрении звукоизоляции от ударного шума. Так, возбуждение корпусного шума может быть эффективно уменьшено лишь при применении системы масса—пружина—масса. Здесь необходимо напомнить о резонансной частоте. Изоляция от корпусного шума в зоне выше резонансной частоты повышается на 12 дБ на каждую октаву. Поэтому легкие машины следует устанавливать на тяжелые фундаменты. В этой связи часто говорят о так называемой успокоительной массе. Если применяют не отдельные пружины или пружин-

ные элементы, а мягкий изоляционный слой, то резонансная частота может определяться по формуле (114).

3. Звукоизоляция вентиляционных каналов, шахт и трубопроводов. При распространении звука через каналы и трубопроводы следует различать звук через сечение и через стенки. При этом речь может идти о звуке, который образуется рядом с шахтой, или о звуке, который возникает в шахте или канале вследствие движения потока воздуха. Кроме того, перенос корпусного шума может происходить через стенки канала.

Относительно переноса звука вдоль стенок канала действуют положения, которые были определены в главе, посвященной переносу звука косвенными путями. Излучение звука в канале или шахте и звукоизоляция, которая поглощает этот шум при переходе через стенку канала, подчиняются известным закономерностям, характерным для звукоизоляции от воздушного шума.

Возникающий перед каналом или шахтой звук в виде воздушного шума распространяется через сечение канала. При этом уровень шума снижается с удалением от его источника. Легко видеть, что с увеличением площади сечения и уменьшением коэффициента поглощения поверхности стенок канала затухание звука снижается. Дальнейшее затухание происходит при прохождении звука через повороты, раздвоения канала, расширительные камеры, сочленения канала, входы в них и при специальном глушении звука.

Достигаемая при всех перечисленных мероприятиях степень глушения звука зависит от частоты.

УКАЗАНИЯ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ

Рассматриваемые ниже рекомендации по проектированию и конструированию касаются сферы деятельности архитектора и не требуют привлечения инженера. Кроме того, рекомендации должны помочь упростить совместную работу архитектора с отдельными специалистами, поскольку они отражают определенные планировочные и конструктивные требования.

1. Архитектурно-планировочное решение. Вначале следует еще раз указать на возможности звукоизоляции, создаваемые за счет рационального планировочного решения. Благодаря объемно-пространственному разделению громких и тихих зон в определенной степени решается проблема звукоизоляции, а конструктивные затраты уменьшаются. Это разделение означает группировку всех шумных помещений, отделение их от чувствительных к шуму зон и изоляцию последних. Пример размещения машинного отделения лифта [10] показывает причины увеличения конструктивных затрат при неблагоприятном планировочном решении.

2. Машины. Уровень излучаемой машинами мощности звука зависит от установленной мощности двигателей. При этом следует различать конструктивные мероприятия по звукоизоляции, направлен-

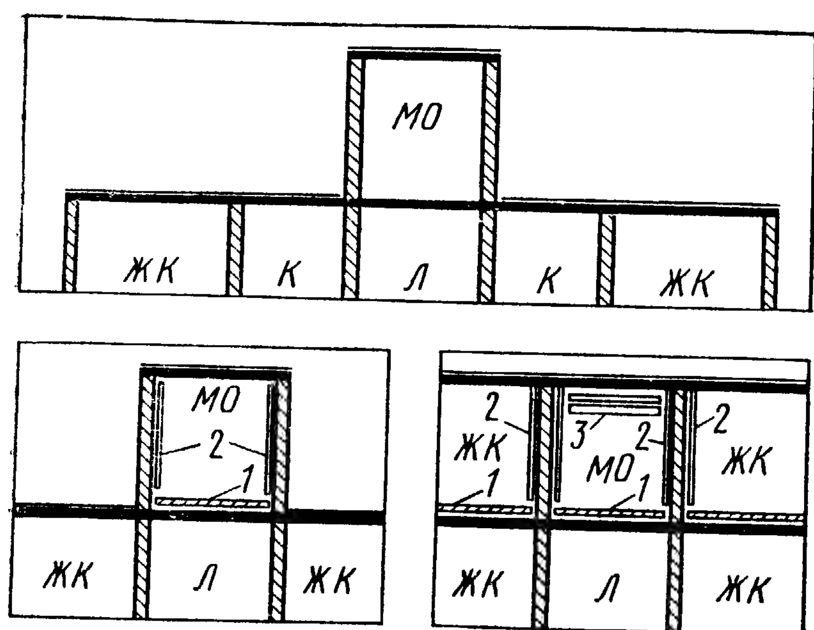


Рис. 175. Звукоизоляция машинного отделения лифта при различном его размещении в здании [10]

МО — машинное отделение; ЖК — жилая комната; К — кухня, ванная; Л — лестница; 1 — плавающий пол; 2 — гибкая приставная оболочка; 3 — звукопоглощающий подвесной потолок

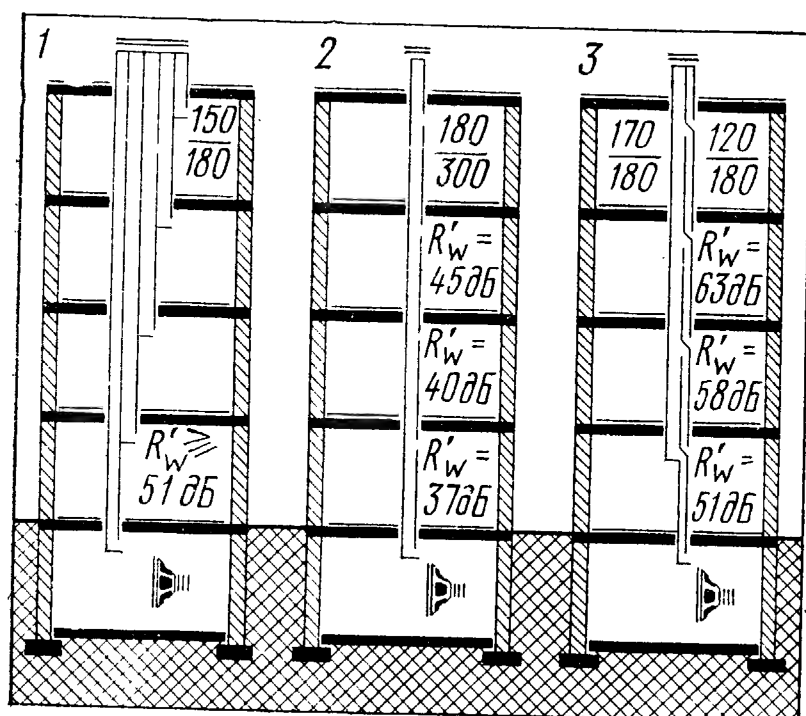


Рис. 177. Звукоизоляция различных вентиляционных каналов

1 — индивидуальные каналы; 2 — сборные каналы; 3 — сборные каналы со вспомогательными каналами

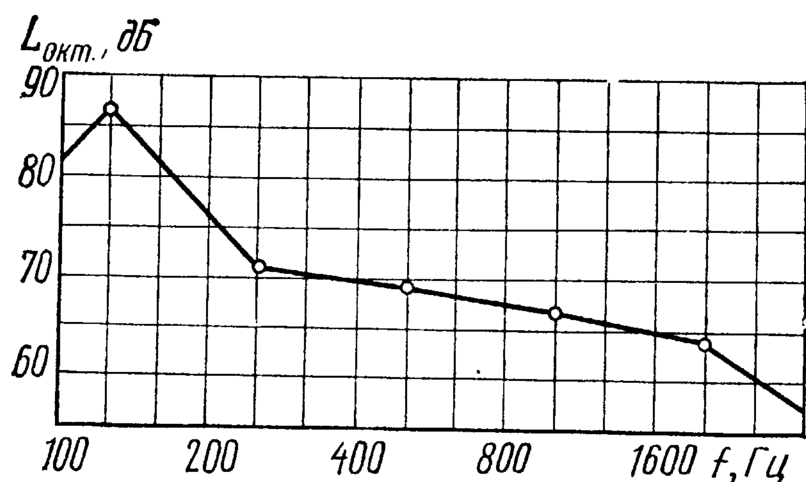


Рис. 176. Октавный уровень давления звука $L_{окт}$ в машинном отделении лифта [10]

ные на уменьшение переноса воздушного и корпусного шума. Для звукоизоляции от воздушного шума, возникающего при работе машин, действуют известные положения. При этом конструктивные затраты возрастают при неудачном планировочном и объемном решении. На рис. 175 показаны принципиально возможные варианты устройства машинного отделения внутри здания и необходимые в каждом случае мероприятия по звукоизоляции. В особо критических случаях, как, например, в третьем варианте наряду с мероприятиями по звукоизоляции для одновременного снижения уровня шума рекомендуется применение звукопоглощающей облицовки стен и (или) перекрытий.

Следует обратить внимание на то, что подчас спектр частот шума машин сильно отличается от спектра частот нормального шума. Во многих случаях даже при низких частотах возникает уже высокий уровень, поэтому применяемые мероприятия должны учитывать звукоизоляцию в зоне ниже области измерений, принятой в строительной акустике. Резонансная частота должна быть по возможности ниже 50 Гц, но ни в коем случае не располагаться в той зоне спектра, где машинный шум имеет наибольший уровень.

На рис. 176 показан уровень шума, который возникает при работе лифтовой машины. При установке машин на фундамент применяют стальные пружины, резиновые элементы и пробковые плиты.

Отопительные котлы производят в помещении шум с уровнем 70—90 дБ (А). Наряду с соответствующей изоляцией от воздушного шума, выполняемой с помощью ограждающих конструкций, следует обеспечить достаточную изоляцию котельной установки от передачи корпусного шума. С этой целью следует предусматривать эластичное соединение трубопроводов и «плавающие» фундаменты под котлом. Для дымохода, если это возможно, необходимо устраивать специальную звукоизоляцию.

3. Шахты и камины. Перенос звука происходит как через стены, так и через воздушное пространство. Отсюда могут быть сделаны следующие выводы.

Стены шахт выполняются тяжелыми и плотными. Перенос звука через поперечное сечение шахты снижается тем больше, чем больше энергии поглощается на пути между отверстиями шахты. Поэтому шахты с пористыми внутренними поверхностями предпочтительнее шахт с гладкими стенами. Кроме того, путь переноса должен быть длиннее, а поперечное сечение меньше.

На рис. 177 показаны три возможных варианта устройств каналов, причем полное разделение отдельных каналов из акустических соображений представляется наиболее благоприятным решением. При устройстве сборных шахт при сечении одной шахты 18 × 20 см для расположенных одно над другим помещений расчетная величина звукоизоляции достигает 37 дБ.

При устройстве сборных шахт с главным и вспомогательными стволами за счет более длинного пути в виде трех высот этажей и изменения направлений при расположенных одно над другим помещениях обеспечивается достаточная минимальная звукоизоляция. Правда, при всех системах основной предпосылкой является хорошее уплотнение мест прохода шахт через перекрытия. Плиты перекрытий рекомендуется не доводить до стенок шахт и образующийся при этом промежуток заполнять минеральными волокнистыми и другими подобными материалами и заделывать материалом, длительное время сохраняющим свою эластичность.

4. Вентиляционные установки. Звукоизоляция вентиляционных установок и кондиционеров складывается из мероприятий по изоляции от воздушного и корпусного шума самих агрегатов и мероприятий по снижению переноса звука через вентиляционные каналы.

Относительно первой группы мероприятий следует указать на рекомендации, приведенные в разд. 2 «Машины». Уровень громкости звука повышается приблизительно на 3 дБ с каждым удвоением мощности установки, причем необходимо добавить, что уровень громкости звука, который лежит между 75 и 105 дБ (А), соответствует частотам в интервале от 125 до 500 Гц. При этом радиальный вентилятор обладает ощутимо меньшим уровнем мощности звука, чем аксиальный, при равной установленной мощности двигателя.

Вентиляционный канал должен быть эластично присоединен к агрегату. Из акустических соображений он должен быть по возмож-

ности длинным, а его поперечное сечение — как можно меньше. Снижение скорости потока уменьшает уровень шума, вызываемый его движением. Это требует увеличения поперечного сечения (противоречие).

Если речь идет о передаче корпусного шума, то тонкостенные каналы из жести или пластмассы ведут себя лучше, чем кирпичные, а при изоляции от переноса шума из канала в помещения — наоборот. Решение в пользу той или иной конструкции необходимо принимать в зависимости от конкретной ситуации. В принципе следует избегать прохождения вентиляционных каналов через «тихие» помещения. Если избежать этого невозможно, стенки канала должны быть изолированы, например, гибкими скорлупами.

Гасители звука уменьшают уровень воздушного шума, возникающего в сечении. Их следует устраивать как можно ближе к вентиляционной установке. Необходимо обратить внимание на то, чтобы гасители не передавали шум от вентилятора на расположенные за ним каналы. Поэтому их следует располагать в отдельном помещении или соответствующим образом звукоизолировать находящиеся за ним стенки канала.

Вентиляционные отверстия должны быть удалены от мест пересечения ограждений как можно дальше. При слишком малых расстояниях между выходами вентиляции различных помещений в этих местах могут быть встроены гасители звука, причем они располагаются на пути между отверстиями или на входах в каналы (телефонные гасители).

5. Санитарно-техническое оборудование. Звукоизоляция в системе водоснабжения начинается с правильного выбора приборов. Поскольку главным источником шума в системе является арматура, при ее выборе рекомендуется учитывать не только формальные признаки Уровень производимого арматурой шума существенно колеблется в зависимости от ее вида (рис. 178).

Гидравлический напор не должен быть более $3{,}5 \cdot 10^5$ Н/м^2, чтобы не превышать заданного для арматуры уровня шума.

Перенос корпусного шума в трубопроводах может уменьшаться с помощью гасителей водяного шума. Изоляция корпусного шума, распространяющегося в конструкциях, жестко связанных с оборудованием, представляет собой одну из основных проблем. Поэтому приходят к выводу, что трубопроводы не должны быть прочно связаны со стенами и перекрытиями. Некоторые способы закрепления труб, изолирующие от передачи корпусного шума, приведены на рис. 179. Из диаграммы видно, насколько излучаемый благодаря такому закреплению уровень шума может быть снижен в сравнении с жестким закреплением. Эта диаграмма показывает также, что от комбинации из стальной пружины и резинового (пластмассового) вкладыша можно ожидать наилучших результатов. Складка стальной пружины должна быть параллельна трубопроводу, как это показано на рисунке. Поворот пружины на 90° снижает звукоизоляцию закрепления в среднем на 10 дБ.

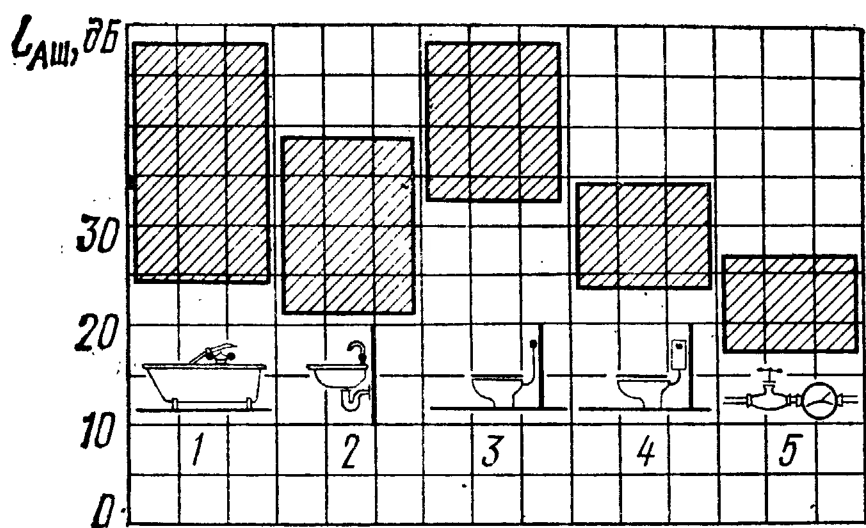


Рис. 178. Уровень шума обычных сантехнических приборов (по *Gösele/Voigtsberger*)

1 — арматура ванной; 2 — арматура мойки; 3 — смывной бачок; 4 — низкий смывной бачок; 5 — устройство для снижения давления

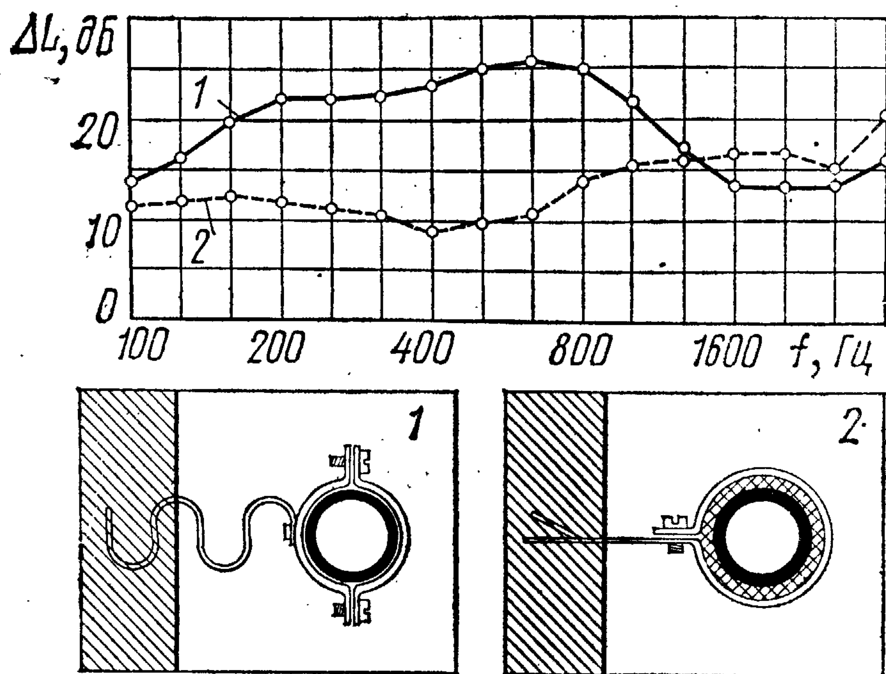


Рис. 179. Изолирующие от корпусного шума кронштейны для трубопроводов [10]

1 — крепление трубопровода стальным хомутом; 2 — крепление трубопровода с использованием мягкого вкладыша (например, из губчатой резины)

В принципе рекомендуется группировать трубопроводы, опирать их на соответствующие несущие элементы (рельсы) и эти несущие элементы описанным выше способом прикреплять к стене (перекрытию). Отдельные трубопроводы можно укладывать в штрабах (прорезях), укрывая их мягким изоляционным материалом.

Сточные канализационные трубы следует укладывать аналогичным образом. При этом поливинилхлоридные трубы при меньшем переносе корпусного шума обладают худшей звукоизолирующей способностью, чем чугунные или стальные трубы.

Устройство проходов для труб связано с переносом воздушного шума из одного помещения в другое. Поэтому отверстие в стене или перекрытии должно быть выполнено таким образом, чтобы охватывать трубу, а швы заполнять материалом, сохраняющим длительное время свою эластичность. При устройстве проходов через перекрытия с плавающими полами нельзя также допускать, чтобы труба образовала акустический мостик между стяжкой и несущей плитой перекрытия.

При установке ванн и моек обращают внимание на следующее. Высота и угол падения струи должны быть как можно меньше. Поверхность стальных конструкций, на которую падает струя воды, должна быть покрыта противошумным материалом. Необходимо отметить, что приборы из фарфора или фаянса производят меньше воздушного шума, но способствуют большему переносу корпусного шума, чем такие приборы из жести или листового железа.

Во всех случаях рекомендуется устройство эластичного примыкания этих приборов к стенам с помощью соответствующего профиля или эластичной массы для швов. При устройстве ванн следует обратить внимание на то, чтобы они устанавливались либо на плавающий пол, либо на мягкие плиты, например, из рифленой резины, пробки и т. п.

6. Лифтовые установки. Лифтовые установки производят шум как в машинном отделении, так и в самой шахте лифта. Речь идет преимущественно о низкочастотном шуме (см. рис. 176). В соответствии с этим и назначается вид изоляции машинного отделения от воздушного шума и самой машины от корпусного шума. При применении поворотных роликов следует обратить внимание на изолирующее от корпусного шума пружинное крепление роликов. Шум от работы машин, который проникает в шахту лифта через места прохода каналов, может быть уменьшен путем устройства звукопоглотителей. При необходимости вся шахта может быть облицована звукопоглощающим материалом, причем с учетом особенностей спектра частот.

Стенки шахт лифтов должны обладать звукоизолирующей способностью, соответствующей расположению лифта в плане здания. Как правило, достаточно однослойных стен с массой 1 $м^2$ поверхности не меньше 200 кг. С целью снижения переноса корпусного шума они должны быть в немногих отдельных точках присоединены к междуэтажным перекрытиям и полностью отделены от прочих конструкций здания.

Направляющие кабины лифта не должны передавать корпусной шум стенкам лифта. Применение резиновых роликов повышает звукоизоляцию. Уровень шума, производимого кабиной, колеблется между 50 и 75 дБ (А). Двери лифта должны иметь противоударные амортизаторы.

7. Прочие устройства здания, прозводящие шум. Устройства для мусороудаления из-за высокого уровня производимого ими корпусного шума вследствие ударов от падения мусора должны быть тщательно отделены от остальных конструкций. Конструкцию шахты следует выполнять двухслойной. При устройстве отверстий для приемки мусора необходимо обратить внимание на то, чтобы не возникали акустические мостики между шахтой и окружающими стенами.

Жалюзи за счет передачи корпусного шума в соседних помещениях производят шум с уровнем 60—70 дБ (А) [200]. Для снижения этого уровня рекомендуется применение легких конструкций, а также устройство войлочных полос на направляющих рельсах и резиновых или пластмассовых амортизаторов для смягчения ударов.

ТРЕБОВАНИЯ И ОЦЕНКА

Шум от инженерных устройств и оборудования не должен превышать рекомендуемых значений (см. табл. 7 и 8 приложения).

DIN4109, лист 2 [234] требует, чтобы предельное значение фона шумовой нагрузки, производимой оборудованием в рабочих, жилых и спальных помещениях, не превышало 30—40 дБ (последнее значение для установок, которые работают лишь в дневное время). В циркуляре министра жилищного строительства и общественных работ от 02.07.1970 г. во изменение этих данных установлено единое предельное значение, равное 35 дБ (А). В этом циркуляре

установлены, кроме того, классы уровней шума (I и II) для арматуры системы водоснабжения. В соответствии с этим для определенных планировочных решений может быть применена лишь арматура класса I [$L_{а.ш} < 20$ дБ (А)], для других—арматура класса II [$L_{а.ш} < 30$ дБ (А)].

В указаниях VDI[1] 2058 [364] в качестве предельного значения «внутри» жилых помещений рекомендован средний уровень 35 дБ (А) для дневного времени и 25 (А) для ночного времени.

Шум от движения потока воздуха в вентиляционных установках должен быть не менее чем на 10 дБ [10] ниже значений, которые требуются для тех или иных помещений.

Следует обеспечить значения звукоизоляции по DIN4109, лист 2 для конструкций стен и перекрытий, если помещения, которые разделяются этими конструкциями, соединяются между собой вентиляционными каналами. Между тем проект DIN52220 требует в этой связи, чтобы величина звукоизоляции от воздушного шума шахт с площадью сечения не более 280 см² для одноэтажных зданий составляла не менее ± 0 дБ, для двух- и трехэтажных — + 8 дБ. Но упомянутые выше требования DIN4109 представляются для практического применения более обширными и полными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

2, 10, 51, 62, 97, 149, 159, 190, 191, 192, 201, 277, 279, 324, 325, 332, 352, 361, 362, 363, 364, 366.

Пример. Расчеты шумовой нагрузки от оборудования и вытекающие отсюда мероприятия по звукоизоляции включены, как правило, в область задач, решаемых инженером-сантехником или специальным инженером по звукоизоляции. По этой причине пример не приводится. Детальный расчет изоляции от шума вентилятора приведен в указаниях VDI2081 [366].

---

[1] Союз немецких инженеров. (*Прим. перев.*)

ТАБЛИЦА 1. ДАННЫЕ О МАТЕРИАЛАХ (ПРАКТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ) [3, 8, 10, 91 и 321]

Строительный материал	Плотность, ρ, кг/м³	Статический модуль упругости $E_{стат}$, $\times 10^5$ Н/м²	Динамический модуль упругости $E_{дин}$, $\times 10^5$ Н/м²	Коэффициент теплопроводности λ, Вт/(м·°С)	Коэффициент паропроницания μ	Толщина слоя (для акустического применения) ненагруженного $d_{нн}$, $\times 10^{-2}$ м	нагруженного $d_н$, $\times 10^{-2}$ м
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Окраски, шпаклевочные массы							
Алкидносмолистые краски на олифе:							
два слоя	—	—	—	—	$\mu \cdot d = 5,5$ м	—	—
три слоя	—	—	—	—	$\mu \cdot d = 8$ м	—	—
Асфальт	2000	—	—	0,7	2000	—	—
Битум	1400	—	—	0,14	100 000	—	—
Хлоркаучуковая краска для грунтовок:							
два слоя					$\mu \cdot d = 8$ м		
три слоя					$\mu \cdot d = 11,5$ м		
Эпоксидно-смоляная шпаклевка, 2 мм					2000		
Латексная краска на базе ПВА, два слоя					$\mu \cdot d = 0,8$ м		
Масляная краска, 0,1 мм					20 000		
Полихлоридная окраска по грунтовке:							
два слоя					$\mu \cdot d = 5,5$ м		
три слоя					$\mu \cdot d = 7,5$ м		

Шпаклевка ПВА толщиной слоя:						
2 мм	1200			0,23	400	
5 мм	1200			0,23	300	
Покрытие ПВА, нанесенное распылителем, 2 мм					150	
Лак поливинилхлоридный, 0,1 мм					50 000	
Лак полиуретановый, 0,1 мм					13 000	
2. Бетоны						
Гравийный бетон или бетон с заполнителем из легкого щебня с закрытой структурой:						
марка $\leqslant 150$	2000	$\sim 2{,}5\cdot 10^5$		1,51	50	
марка >150	2000	$\sim 3{,}5\cdot 10^5$		2,03	50	
сборный железобетон	2000	$\sim 4\cdot 10^5$		2,03	100	
Бетон с заполнителем в виде кирпичного боя плотной структуры	1600 1800 2000			0,76 0,93 1,05	10 15 20	
Газобетон, легкий силикатный бетон	500 600 800 1000	От $2\cdot 19^4$ до $4\cdot 10^4$	—	0,19 0,23 0,29 0,35	3,5 4 7 11	
Пористый бетон с непористым заполнителем (гравий и др.)	1500 1700 1900	—	—	0,64 0,81 1,11	8 12 20	

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Пористый бетон с заполнителем в виде кирпичного боя, шлакобетон	1200 1400 1600	—	—	0,47 0,58 0,76	5 7 10		
Пемзобетон, керамзитобетон	800 1000 1200	—	—	0,29 0,35 0,47	2,7 3,6 5		
Деревобетон	800 1000			0,41 0,52	6 10		
3. Кровельные рулонные материалы, пленки, картоны, покрытия							
Битумный картон без покрытия по DIN 52 130, 3 мм					2 500		
Кровельный картон по DIN 52 128: M333—3 мм* M500—3,5 мм*					 50 000 50 000		
Битумный кровельный рулонный материал M500 по DIN 52 130,, 3 мм					50 000		
Рулонный кровельный материал на основе стеклохолста GB5, 3 мм*					70 000		
Битуминизированный рулонный кровельный материал на основе металлизированной пленки (масса 1 м² 125 г), 2,2 мм	—	—	—	—	Практически паронепроницаем		

Пленка поливинилхлоридная	—	—	—	—	50 000		
в том числе с покрытием пленкой:							
полиэтиленовой толщиной 0,1 мм	—	—	—	—	100 000		
полиамидной толщиной 0,04 мм	—	—	—	—	22 500		
Алюминиевая фольга, масса 1 м² 125 г	—	—	—	—	Практически паронепроницаема		
Резиновое покрытие	1350	15—50	—	0,47	800		
Линолеум	1200	—	—	0,21	500		
4. Изоляционные материалы							
Минеральные волокна							
Маты из стекловолокна:	75		1,4	0,041	1,2	2	1,5
прошивные	75		1,6	0,041	1,2	3	2,3
свободные	90		1,6	0,041	1,2	5	3,7
»	100		1,8	0,041	1,2	1,1	1,1
войлок	100		2	0,041	1,2	0,3	0,2
Стеклоткань двухслойная	75		2,1	0,041	1,2	1,4	1,1
Плиты из стекловолокна	80 110 140		1,8 2,1 2,6	0,041 0,041 0,041	1,2 1,2 1,2	4 4 4	2 2,6 3,9
Плиты из минерального войлока	130		4,1	0,07	4	1,5	1
Маты из шлаковаты	180 180		9,5 26,2	0.07 0,07	4 4	2,5 4	1,9 3,2
Плиты из шлаковаты							

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Маты из минерального волокна	58	—	1,8	0,041	1,2	1,2	1
войлок	65	—	2,3	0,041	1,2	1,5	1,2
Маты и плиты из органических материалов							
Строительный войлок	150	—	6,2	0,058	—	0,8	0,6
Маты из кокосового волокна, прошивные	{70 {70	—	{1,8 {2,5	—	—	{2,5 {0,9	{0,2 {0,7
Войлок	100	—	3,5	—	—	1,4	1,2
Легкие строительные плиты из древесной шерсти (DIN 1101):							
1) $d=15$ мм	150	—	—	В зависимости от толщины: 1) 0,14 2) 0,09 3) 0,08	2,2		
2) $d=25$ мм	200	—	—		2,5		
$d=35$ мм	250	—	—		2,5		
3) $d \geqslant 50$ мм	{300 {400 {500 {600	1000	52,5		{3,1 {5 {8 {12	2,5	2,5
Плиты из текстильного волокна на связующем из синтетических смол	170	—	19			2,3	2,2
Изоляционные плиты из мягкого волокна	250	—	19,5	0,06	5	1,4	1,3
Волнистый картон из шерстяного войлока	80	—	4,5			0,5	0,3

Пробковые плиты:							
спекшаяся пробка	120	От 100 до 300	От 100 до 300	0,041	10	1,2	1,2
	160			0,044	10		
	200			0,046	10		
	300			0,053	10		
пробковый паркет	450			0,064	10		
Прессованная пробка битуминизированная	200		11	0,075	12		
	400		11	0,093	12	0,9	0,7
Маты из дробленой резины	430		6,3	0,12		0,8	0,6
Плиты из волнистого картона, битуминизированные	55			0,046			
Маты и плиты из пенопластов							
Ацетонформальдегидный пенопласт	30		11,5	0,041		5	4,6
Пенопласт на основе карбамидоформальдегидной смолы	11		9,1	0,041		3	2,5
	46		26,4	0,041	1,7	3	2,5
Пенополистирол	15		12	0,041	20	1	0,9
	20			0,041	40		
	30			0,041	60		
	40			0,041	80		
Экструдированный пенополистирол (со вспененной оболочкой)	40			0,041	200		
	50			0,041	250		
	60			0,041	300		
Твердый пенополистирол, обработанный вальцами	30		1,7	0,041		1,5	1,3
Пенополиуретан	30		3,4	0,041	50	2	1,9

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Пенопласт на основе фенолальдегидных смол	20 100			0,041 0,041	30 50		
Пенополивинилхлорид	40 70			0,041 0,041	200 300		
Пеностекло	150 300 500	$1{,}5 \cdot 10^4$		0,047 0,116 0,163	Практически бесконечно		
5. Дерево							
Бук:							
вдоль волокон	600	$12{,}5 \cdot 10^4$		0,35	50		
поперек волокон	До 900	$6 \cdot 10^3$		0,18	50		
Дуб:							
вдоль волокон	500	$12{,}5 \cdot 10^4$		0,41	50		
поперек волокон	До 900	$6 \cdot 10^3$		0,23	50		
Ель и пихта:							
вдоль волокон	400	$10 \cdot 10^4$		0,29	50		
поперек волокон	До 700	$3 \cdot 10^3$		0,14	50		
Сосна:							
вдоль волокон	300	$10 \cdot 10^4$		0,29	50		
поперек волокон	До 800	$3 \cdot 10^3$		0,14	50		
Плиты из древесных материалов (разд. 8)							
Изоляционные материалы на основе древесины (разд. 4)							
Монолитные полы с древесными материалами (разд. 2)							

6. Растворы и стяжки							
Ангидритовый раствор и стяжка с небольшим количеством песка или чистый	1000			0,46	10		
	1200			0,58	10		
	1400			0,7	10		
	1600			0,81	10		
	1800			0,93	10		
	2000			1,05	10		
Пористый ангидритовый раствор с добавками из древесины	600			0,29	10		
	800			0,41	10		
	1000			0,46	10		
	1200			0,58	10		
	1400			0,7	10		
	1600			0,81	10		
Асфальтовая стяжка	2000			0,7	2000		
Бетонная стяжка, деревобетонная стяжка (разд. 2)							
Гипсовый раствор с небольшим количеством песка	800			0,41	10		
	1000			0,52	10		
	1200			0,7	10		
Газо-, пеногипс				0,23	10		
Известковый гипс	600			0,7	10		
Известковая штукатурка	1600			0,87	15		
Известково-цементный раствор	1800			0,87	35		
Цементный раствор	1800			1,39	35		
Мозаичный раствор	2000			1,16	50		
7. Засыпки							
Вермикулит	1000		26,3	0,12		2	1,5
Дробленая резина прессованная	400	—	3,6	0,12		2	1,2

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Доменный шлак:							
вспененный	350	—	—	0,14			
гранулированный	700	—	—	0,19			
»	900	—	—	0,26			
»	1300	—	131	0,4			
Трепел	200	—		0,06	Коэффициенты паропроницания небольшие; для расчетов $\mu \approx 1$	2	1,9
	400			0,09			
	600			0,14			
	800			0,19			
Дробленая пробка:							
под стяжку	100	—	16,2	0,041		2,5	2
засыпка	200	—	—	0,041			
Гравий	1850	—	—	0,81			
Пемзовый гравий	600	—	—	0,19			
Перлит	100			0,06			
	700			0,12			
	900			0,15			
Каменноугольный шлак	800			0,19			
Песок	2000			0,58			
Кирпичный бой	1200			0,41			
8. Стеновые строительные плиты							
Неорганические материалы							
Асбестоцементные плиты	1800			0,35	50		
Естественная пемза, термозит	800			0,29	2,7		
	1000			0,35	3,6		
	1200			0,47	5		
	1400			0,58	8		

Прочие легкобетонные строительные плиты (разд. 2)						
Гипсокартонные плиты (DIN 18 180) до $d=18$ мм (тяжелые)	1150			0,21 0,47	8 8	
Гипсовые плиты со стекловолокном	1200			0,49	13	
Гипсовые стеновые строительные плиты без покрытия	600 750 900 1000 1200			0,29 0,35 0,41 0,46 0,58	10 10 10 10 10	
Органические материалы						
Легкие строительные плиты из древесной шерсти (разд. 4)						
Твердые волокнистые плиты (твердые древесноволокнистые плиты)	400 600 800 1000	$2\cdot10^4$		0,09 0,1 0,12 0,16	70 70 70 70	
Древесностружечные плиты на связующем $V_{20},\ldots V_{100}$	200 400 600 700	$2\cdot10^4$		0,05 0,07 0,1 0,12	5 20 60 120	
Фанера для применения:						
внутри	430			0,14	50	
снаружи	До 700			0,14	200	

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
9. Кирпич, керамика, кирпичная кладка							
Кладочный кирпич, включая растворные швы, керамические плиты							
Полнотелый и пустотелый кирпич (облицовочный)	1000 1200 1400 1800	От $1\cdot10^4$ до $5\cdot10^4$		0,47 0,52 0,61 0,79	2 2 5 10		
Клинкерный кирпич для надземных сооружений	1900 2000 2100 2200	До $10\cdot10^4$		1,05 1,13 1,35	90 180 400 1000		
Клинкерный кирпич с вертикальными пустотами	1900 2000 2100 2200			0,79 0,97 1,2 1,4	90 180 400 1000		
Неглазурованная фасадная керамическая плитка с растворными швами размером, мм: 120×245 52×240				 1,05 1,05	 340 225		
Глазурованная фасадная керамическая плитка с растворными швами размером, мм: 120×245 52×240				 1,05 1,05	 410 250		
Керамические плитки	1700 2300			1,04 1,04	200 300		

Камни на цементном вяжущем, включая растворные швы						
Силикатные камни (DIN 106):						
блоки с пустотами	1000	От $3 \cdot 10^4$ до $12 \cdot 10^4$		0,5	8	
	1200			0,56	8	
пустотные камни	1200			0,56	8	
	1400			0,7	8	
	1600			0,79	8	
полнотелые камни	1600			0,79	8	
	1800			0,99	13,5	
	2000			1,11	31	
Шлакоблоки (DIN 398):						
пустотные	1400			0,58	7	
»	1600			0,64	10	
полнотелые	1800			0,76	14,6	
»	2000			0,84	21	
»	2200			1,05	30	
Легкобетонные камни полнотелые (DIN 18152)	800			0,41	2	
	1000			0,47	4	
	1200			0,52	5	
	1400			0,58	7	
	1600			0,79	10	
Камни с двумя пустотами (DIN 18151)	1000			0,44	4	
	1200			0,49	5	
	1400			0,56	7	
Камни с тремя пустотами (DIN 18151)	1400			0,49	7	
	1600			0,56	10	

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Газо-, пенобетонные камни	600			0,35	4		
Легкие камни из силикатного бетона:							
пропаренные	800			0,41	7		
	1000			0,47	11		
воздушного твердения	800			0,44	7		
	1000			0,56	11		
	1200			0,7	20		
Камни из деревобетона	800			0,44	6		
	1000			0,56	10		
Природные каменные материалы							
Гранит, гнейс, мрамор, базальт	2700			3,48			
Песчаник, известняк, ракушечник	2300			2,32			
Конгломерат из извести, песчаника и изверженных пород, известняк аморфный	2600			1,22			
10. Прочие материалы							
Стекло							
Оконное плоское	2 500	$5 \cdot 10^5$		0,81	∞		
Оконное с учетом швов	2 500	$5 \cdot 10^5$		—	100 000		
Пустотелый блок				0,17			
Металлы							
Алюминий	2 700	$7{,}2 \cdot 10^5$		203	∞		
Свинец	11 300	$1{,}7 \cdot 10^5$			∞		
Чугун	7 200			50	∞		
Медь	8 900	$12 \cdot 10^5$		383	∞		
Сталь	7 800	$21 \cdot 10^5$		58	∞		

* Толщина слоя с однократной битуминизированной клеевой покраской.

ТАБЛИЦА 2. СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗДУШНОЙ ПРОСЛОЙКЕ [321]

Замкнутые воздушные прослойки	Динамический модуль упругости $E_{дин}$, $\times 10^5$ Н/м²	Сопротивление теплопередаче d/λ, м²·°С/Вт	Коэффициент паропроницания μ
1	2	3	4
Слои воздуха вообще, замкнутые	1,2		1
Слой воздуха вертикальный замкнутый высотой, см			
1		0,14	1
2		0,16	1
5		0,18	1
10		0,17	1
15		0,16	1
Слой воздуха горизонтальный замкнутый высотой 1 см		0,14	1
Тепловой поток снизу вверх ↑ 2 см		0,15	1
5 см		0,16	1
Слой воздуха горизонтальный замкнутый высотой 1 см		0,15	1
Тепловой поток сверху вниз ↓ 2 см		0,18	1
5 см		0,21	1
Сопротивления теплопереходу перед поверхностями наружных конструкций		Сопротивление теплопереходу $1/\alpha$, м²·°С/Вт	
На внутренней стороне закрытого помещения перед вертикальными конструкциями ←→		$1/\alpha_в = 0,12$	
На внутренней стороне закрытого помещения под горизонтальными конструкциями. Тепловой поток снизу вверх ↑		$1/\alpha_в = 0,12$	
На внутренней стороне закрытого помещения, под горизонтальными конструкциями. Тепловой поток сверху вниз ↓		$1/\alpha_в = 0,17$	
На наружной стороне вообще		$1/\alpha_в = 0,04$	

ТАБЛИЦА 8. УСЛОВИЯ МИКРОКЛИМАТА $t_в$ И ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА (О. В. В.) В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАЗНАЧЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЯ [8]

Предприятие	Температура, °С	Относительная влажность воздуха, %	Примечания
1	2	3	4
Аптеки, помещения:			
складские	+20—27	30—35	Сухие помещения
рабочие	+18—20	50—70	
Архивы	+15	50—60	То же
Выставочные павильоны	+10—20	50	
Хлебопекарни:			
приготовление теста	+23—27	55—70	Влажные и мокрые помещения
кондитерские цехи	+25	65	
Крытые перроны (см. залы)			
Библиотеки, книгохранилища	+15—18	40—60	От нормальной влажности до сухой
Конторы	+18—20	50—60	
Фабрики и производственные помещения:			
Фабричные помещения разные для работы:			
легкой ручной	+20	50	
тяжелой ручной	+15	50—60	
Фабричные помещения с определенным назначением:			
химические лаборатории	+18—22	50—70	Кислотные газы, водяные пары
гальванические цехи		85	мокрые помещения
кожевенные производства		85	
литейные производства	+15—25	80—95	при литье в сырые формы, постоянная влажность
Резиновая промышленность: производственные помещения	+15—25	75—85	Влажность воздуха, обусловленная производством, мокрые помещения
Производственные помещения металлообрабатывающей промышленности с большим объемом воздуха	+10—20	50	Теплотехнические проблемы отсутствуют, но взрывоопасны
Котельные	+25—35	До 30	
Сборочные цехи:			
для автомобилей и самолетов	+10—18	50	Необходимо оборудование кондиционерами
для опасных в коррозионном отношении машин и для прецизионных деталей машин	+20	60	Влажность работающих около 60%

1	2	3	4
Столярные или лакокрасочные	+20		Туман, содержащий капли краски
Малярные (с распылением составов)	+25—40	65—75	Предусматривается вытяжная вентиляция
Турбинные (машинные) залы:			
с большим объемом воздуха		50	Высокое содержание дыма из-за неплотности гильз
с малым объемом воздуха	—	60—70	
с паровыми турбинами	+30—40	80—85	
Тонкая механика			
Мастерские (цехи)	+20—22	50—55	
Помещения для работы с контрольно-измерительными приборами	+20	50—55	
Оптика, производство оптики	+20	10—15	
Киноиндустрия			
Проявочные цехи	+20—22	60—65	
Сушка	+20—28	50	
Резка	+22	60—65	
Склады проявителя	+15	70	
Доработка, покрытие	+18—20	60	
Кинотеатры	+18	60 75—85	 Неотапливаемые
Рестораны	+18	55	Влажность воздуха варьируется
Торговые предприятия	+20	50—60	
Залы, цехи, гаражи открытые всех видов для технического имущества, пожарных машин, грузовых автомобилей	+10—20	50	Значение влажности зависит от вентиляции через ворота, двери, окна, фонари, открытые фартуки и др.
	+10—18	50	
Большие залы, посылочные станции, торговые залы, сборочные цехи, автобусные парки, цехи для ремонта самолетов	+12	50	
Гаражи, крытые перроны	+10—15	50	Может быть также <50%
Спортзалы	+15	50—80	Различаются по объему воздуха и виду спорта
Катки с искусственным льдом	—5		Под крышей и на окнах образуется конденсат
Больницы, клиники			
Помещения операционных	+24—35	40—60	
Палаты, ванные комнаты	+22		

1	2	3	4
Дневные помещения	+20	50	
Лабораторные помещения	+24	30—45	
Лестницы, туалеты	+20		
Холодильники вообще		80—85	Обратить внимание на мокрые помещения: при сильном охлаждении в помещениях тепловой поток в течение года изменяет свое направление
Холодильники для пива:			
лагерный подвал[1]	+1—2	70—80	
бродильня	+3,5—6	50—70	
торговля	+6—8	50—75	
Холодильники для цветов:			
сирени	От —6 до —4	80	Велика опасность образования конденсата на теплой стороне стен, поэтому с обеих сторон изоляции следует предусматривать пароизоляцию
роз	—2	80	
срезанных цветов	+2	80	
Холодильники для:			
хлеба	От +10 до +12	80—85	
муки	От +2 до +4		
хлебобулочных изделий	От +6 до +8	80	
Помещения для масла (маргарина):			
морозильное	От —6 до —4	75—80	
холодильное	От +2 до +4	75—80	
Помещение для яиц:			
холодильное	От 0 до +1	80	
для размораживания	От +6 до +8	80	
Другие охлаждаемые продукты			
Холодные закуски	+7+8	70	
Буфетные холодильные шкафы	+3+5	80	
Овощи, картофель	+5+6	90—95	
Фрукты (плоды)	+2+4	70—80	
Помещение для хранения белого вина	+8+10	—	
Рыба			
Передняя рыбного холодильного помещения	0— (+2)	85	
Свежая рыба на льду	От—23 до—1	95	
Рыбное морозильное помещение	От—18 до—20	95	Глубокоохлаждаемые помещения требуют большей частью обогреваемого пола, иначе существует опасность намерзания льда
Способ Оттезена	—20	—	
Соленая сельдь в бочках	—4— (0)	95	
Свежая сельдь в ящиках	—15— (—10)	80	
Копченая рыба	—8— (—6)	85	
Сушеная рыба	+2— (+4)	75	
Рыбные маринады	+6— (+8)	—	
Мясо			

1	2	3	4
Передняя	+7—8	85—90	Глубокоохлаждаемые помещения для мяса до —25°С
Холодильное помещение	—0,5— (+0,5)	75—85	
Главное холодильное помещение	0— (+2)	82—84	
Помещения для солонины	+6+8	90—95	
Солонина	—3— (+1)	75—90	
Морозильное помещение	—10 и ниже		
Колбасные изделия	+6+8	80	
Консервы	—1— (+2)	50—70	
Фрукты			
Виноград	0— (+4)	85	
Земляника (клубника)	—1— (+1)	90	
Яблоки	—1— (+1)	90	
Прочие косточковые и семечковые плоды	0— (+2)	90	
Бананы	+11	85	
Орехи	+4		
Лимоны и апельсины	+2—(+6)	90	
Овощи			
Томаты зрелые	0		
Капуста	—1— (+4)	90	
Картофель	+4— (+6)	85	
Лук	—2,5	75	
Огурцы	0— (+4)	85	
Салат	0	95	
Консервы	+2—(+4)	—	
Сыры			
Складское помещение	+4—(+6)	75	Данные по видам сыров различны
Творог	0— (+2)	75	
Молоко			
Холодильное помещение	+2—(+6)		
Помещение для вызревания сливок	+14—(+18)		
Помещение для бутылочного молока	+10—(+12)		
Табачные изделия	+16—(+20)	55—65	
Прочие			
Помещение для длительного хранения мороженого	—30— (—25)		
Помещения для хранения мороженого	—15		
Помещение для хранения искусственного льда	—8— (—4)		
Меховые изделия висящие	—2— (+2)		
Шерстяные изделия	—2— (+5)		
Шкуры (кожи)	+1—2	95	
Дичь и домашняя птица			
Морозильные помещения	—10	90	Товары подвешены на полках
Помещения для хранения	—6— (—4)		
Помещения для хранения дичи	—3—5	85	

1	2	3	4
Помещения для хранения домашней птицы	—2—4 +20—25	85	5—8-кратный обмен воздуха
Молочные хозяйства	+22—25	80	
Маслобойни Сыроварни	+20—25	80—85	
Мойка бутылок	+20	90	Мокрые помещения, стойкие к химикалиям полы
Бумажное и типографское производство	+20—(+24)	60—80	
Школы, в среднем	+18		
Классы, зрительные залы	+20	60	
Вестибюли и лестницы	+18—(+20)	50	
Помещения для собраний	+15		
Туалеты	+15		Испарения периодические
Моечные и душевые	+20	80—90	
Плавательные бассейны (зимние)	+22—(+28)	80—90	Постоянная влажность
Помещения для содержания животных (закрытые)			
Птичники	+6—8	75	Значительная влажность воздуха
Помещения для выведения птенцов	+16—(+18)	70	Максимально допустимые значения
Конюшни:			
для рабочих лошадей	+5	75—80	На практике часто выше
для спортивных лошадей	+6	75—80	
для кормящих кобылиц и молодняка	+6—8	80—85	
Фермы для крупного рогатого скота			
Помещения для откормочных животных	+5	75—80	Все стойла должны нормально вентилироваться и не иметь застоя воздуха
То же, для коров и телят	+8	75—85	
То же, для отела	+12	80	
Свинарники			
Помещения для откорма	+6	75—85	Для молодняка необходимы дополнительные источники тепла
Помещения для поросят, молодняка и свиноматок	+10	80	
Стойла для опороса	+12	75	
Конюшни	+9—(+12)	75—85	
Хлевы смешаные	+5—(+15)	75—85	
Текстильная промышленность	+20—25	65—80	Приведены минимальные значения влажности
Театры	+18	60—70	
Трансформаторные подстанции	+30—(+35)	50—60	Отсутствие конденсации влаги, проветривание помещений

1	2	3	4
Помещения для собраний	+18	60—70	
Прачечные	+27—(+30)	70—85	
	+27	—	
Жилища			
Жилые и рабочие комнаты	+18—20	50—55	
Спальни	+15—18	55—65	Спальни с небольшим объемом воздуха
Кухни, кухни-столовые	+16—18	55—80	Тесные и постоянно используемые кухни-столовые могут фактически иметь и более высокую влажность
Ванные	+22	—	
Туалет	+20	—	
Внутренняя прихожая	+15	—	
Лестничная клетка	+15	—	
Помещения для стирки и душевые	+20—25	70—80	

[1] Для выдерживания пива. (Прим. перев.)

ТАБЛИЦА 4. ДАВЛЕНИЕ НАСЫЩЕННЫХ ПАРОВ $P_н$ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУР

Температура, °C	Давление насыщенных паров $P_н$, Н/м²									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
35	5624	5654	5685	5717	5749	5781	5813	5845	5877	5909
34	5320	5349	5378	5409	5440	5469	5500	5530	5561	5592
33	5030	5058	5088	5116	5144	5173	5202	5232	5261	5290
32	4754	4782	4808	4836	4864	4890	4918	4946	4974	5002
31	4493	4518	4544	4570	4596	4622	4648	4673	4701	4728
30	4242	4268	4292	4317	4341	4366	4390	4416	4441	4466
29	4005	4029	4052	4076	4100	4122	4146	4170	4194	4218
28	3780	3801	3824	3846	3869	3890	3913	3936	3960	3982
27	3565	3586	3608	3628	3649	3672	3693	3714	3736	3758
26	3361	3381	3401	3421	3441	3461	3482	3502	3523	3544
25	3168	3186	3205	3224	3244	3263	3283	3301	3321	3341
24	2984	3001	3020	3038	3056	3074	3093	3112	3130	3149
23	2809	2826	2842	2860	2877	2894	2913	2930	2948	2965
22	2644	2660	2676	2692	2709	2725	2742	2758	2776	2792
21	2486	2502	2517	2533	2548	2564	2580	2596	2612	2628
20	2338	2352	2366	2381	2395	2410	2426	2441	2456	2472
19	2197	2210	2224	2238	2252	2266	2280	2294	2309	2324
18	2064	2076	2089	2102	2116	2129	2142	2156	2169	2182
17	1937	1949	1961	1974	1986	2000	2013	2025	2037	2050
16	1817	1829	1841	1853	1865	1877	1889	1901	1913	1925
15	1705	1716	1727	1739	1749	1760	1772	1783	1796	1806
14	1598	1608	1619	1629	1640	1651	1661	1672	1683	1694
13	1497	1507	1517	1527	1537	1547	1557	1567	1577	1588
12	1403	1412	1421	1431	1440	1449	1459	1468	1477	1487

11	1312	1321	1330	1339	1348	1357	1366	1375	1384	1393
10	1228	1236	1244	1252	1261	1269	1277	1286	1295	1304
9	1148	1156	1164	1172	1179	1187	1195	1203	1212	1220
8	1072	1080	1087	1095	1102	1109	1117	1125	1132	1140
7	1001	1008	1016	1023	1030	1037	1044	1051	1058	1065
6	935	941	948	955	961	968	975	981	988	995
5	872	879	885	891	897	903	909	916	922	928
4	813	819	825	831	836	842	848	854	860	866
3	757	762	768	774	780	785	791	796	802	808
2	705	710	716	721	727	732	737	742	747	752
1	657	661	666	671	676	681	685	690	695	700
+0	611	615	620	624	628	633	637	642	647	652
—0	611	606	601	596	591	586	581	576	572	567
—1	562	557	553	548	544	539	535	530	525	521
—2	517	513	508	504	500	496	492	488	484	480
—3	476	472	468	464	460	456	452	448	444	440
—4	437	433	429	425	422	419	415	412	408	404

Продолжение табл. 4

Температра °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
—5	401	397	394	391	388	384	381	378	375	371
—6	368	365	361	358	355	352	349	346	343	340
—7	337	334	332	329	326	323	320	317	314	311
—8	309	307	304	301	299	296	293	291	288	285
—9	283	281	279	276	273	271	269	267	264	262
—10	260	257	255	252	250	248	245	243	241	239
—11	237	235	233	231	229	227	225	223	221	219
—12	217	215	213	211	209	207	205	203	201	199
—13	198	196	195	193	191	189	187	185	184	182
—14	181	179	177	176	175	173	171	169	168	166
—15	165	164	163	161	159	157	156	154	153	152
—16	151	149	148	147	145	144	142	141	140	139
—17	137	136	135	133	132	131	130	129	127	125
—18	124	123	122	121	120	119	117	116	115	114
—19	113	112	111	110	109	108	107	105	104	103
—20	102	101	100	99	99	98	97	96	95	94

ТАБЛИЦА 5. ТРЕБОВАНИЯ ПО ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ (ПО [324])

Графы		a	b	c_1	c_2	d	c_1	c_2
Строки		Здания и сооружения	Минимальные требования[1]			Предложения по повышенной звукоизоляции[1]		
			Величина звукоизоляции от воздушного шума (ЗВШ), дБ	Показатель звукоизоляции от ударного шума (ЗУШ), дБ		Величина звукоизоляции от воздушного шума (ЗВШ), дБ	Величина звукоизоляции от ударного шума (ЗУШ), дБ	
				Непосредственно[2]	≥2 лет после завершения строительства		непосредственно[2]	≥2 лет после завершения строительства
1.1		Многоэтажные здания с помещениями для пребывания людей (квартиры и рабочие помещения)						
1	Перекрытия	Перекрытия под неиспользуемыми чердаками	—			—		
2		Перекрытия под используемыми чердаками, например под сухими полами, домовыми прачечными, мансардами и входами в них	0	3	0	≥3	≥13	≥10
3		Перекрытия между квартирами[3] и перекрытия между рабочими помещениями	0	3[4]	0[4]	≥3	≥13[4]	≥10[4]
4		Перекрытия над подвалами, прихожими, лестницами, под общими комнатами	0	3[5]	0[5]	≥3	≥13[5]	≥10[5]
5		Перекрытия над проездами, въездами общих гаражей и др., под общими комнатами	3[6]	3[5]	0[5]	≥3[6]	≥13[5]	≥10[5]
6		Перекрытия под террасами и над арочными подъездами дома (общие комнаты)	—	3	0	—	≥13	≥10
7		Перекрытия над арочными подъездами дома	—	3[5]	0[5]	—	≥13[5]	≥10[5]
8		Перекрытий квартир в двух уровнях	—	3[5]	0[5]	0	≥13[5]	≥10[5]

Продолжение табл. 5

Графы		a	b	c_1	c_2	d	c_1	c_2
9	Стены	**Межквартирные перегородки и стены между рабочими помещениями**	0	—		≥3	—	
10		**Стены лестничных клеток и стены прихожих**	0	—		≥3	—	
11		**Стены рядом с проездами, въездами общих гаражей и др.**	3[6]	—		≥3[6]	—	
1.2.	Одноквартирные дома							
12		**Перекрытия в одноквартирных сдвоенных домах и при рядовой застройке**	—	3[5]	0[5]	≥0	≥13[5]	≥10[5]
13		Перекрытия в свободно стоящих одноквартирных домах				≥0	≥3	≥0
14		Межквартирные перегородки[3] между одноквартирными сблокированными домами и при рядовой застройке	3	—		≥3	—	
1.3.		Перекрытия общественного питания, кинотеатры, промышленные предприятия и т. д., которые граничат с квартирами или с другими рабочими помещениями						
15		Перекрытия	10[8]	20[9]	20[9]	>10[8]	>20[9]	>20[9]
16		Стены	10[8]	—		>10[8]	—	
1.4		Гостиницы, дома для приезжающих, больницы						
17		Перекрытия между спокойными (помещения для ночлега, больничные) и «громкими помещениями» (гостиные, кухни и др.)	10[8]	20[9]	20[9]	>10[8]	>20[9]	>20[9]
18		То же, стены	10[8]	—		>10[8]	—	
19		Перекрытия между спокойными помещениями (помещения для ночлега и больничные, включая принадлежащие им прихожие)	0	3	0	≥3	≥13	≥10

Графы		a	b	c_1	c_2	d	c_1	c_2
20		То же, стены	—3[11]	—		≥0	—	
1.5		Школы[12]						
21		Перекрытия между помещениями для занятий и т. п., включая передние	3	13	10	—		
22		Стены между помещениями для занятий и т. п.	3					
23		Стены между помещениями для занятий и прихожими или лестничными клетками	0	—		—	—	

[1] Смотри также условия для проверки пригодности в разд. 4.1.2 DIN 4109.

[2] Значения этой графы содержат в качестве запаса надбавку в 3 дБ для возможного старения звукоизоляционных слоев с целью обеспечения изоляции от ударного шума.

[3] Межквартирные перегородки и перекрытия представляют собой конструкции, которые разделяют квартиры между собой и квартиры с рабочими помещениями.

[4] При перекрытиях между уборными, ванными и рабочими кухнями в качестве защиты от горизонтальной и косвенной передачи ударного шума (измеряется по разд. 4.2 DIN 4109).

[5] Только из-за передачи ударного шума по горизонтали и в других направлениях в другие общие комнаты (измеряется по разд. 4.2 DIN 4109).

[6] Если проезды являются одновременно путями дорожного движения, следует привлечь экспертов; требования должны быть выше.

[7] Хорошая звукоизоляция от воздушного и ударного шума в одноквартирных сблокированных домах при рядовой застройке может быть обеспечена путем устройства разделяющих швов, проходящих на всю глубину и высоту здания.

[8] Величина звукоизоляции от воздушного шума ≥10 дБ, как правило, не может быть обеспечена только путем улучшения звукоизоляции одних лишь разделяющих поверхностей. Требуется уменьшение косвенного переноса звука. Рекомендуется привлечь экспертов (см. также лист 5 разд. 2.3.1 DIN 4109).

[9] Измерять в направлении распространения шума.

[10] Для стен между ресторанами и т. п. и жилыми помещениями значения даются в виде рекомендаций.

[11] Может быть обеспечено возведением стен толщиной 11,5 см и массой 1 $м^2$, включая двухстороннюю штукатурку, минимум 250 кг.

[12] См. также DIN 18031 «Гигиена в школьном строительстве. Основные принципы».

ТАБЛИЦА 6. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ [374]

Тип зданий	Оцениваемое помещение	Соседнее помещение	Расчетная величина звукоизоляции стен R'_w, дБ		Перекрытия			
					Расчетная величина звукоизоляции R'_w		Величина звукоизоляции от ударного шума	
			минимальная	желательная	минимальная	желательная	минимальная	желательная
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Жилые	Спальня	Все остальные	32	47	51	51	+4	+4
Конторские и административные	Рабочие помещения без конторских машин	Коридоры, рабочие помещения с конторскими машинами	42	51	51	51	—	—
		Рабочие помещения без конторских машин	37	47	47	47	—	—
		Санузел	47	51	51	51	+4	+9
	Помещение для конфиденциальных переговоров	Все прочие помещения и санузлы	47	54	47	54		
Детские ясли, дошкольные учреждения, интернаты	Общая детская комната	Все прочие помещения, кроме спальни	47	47	47	47		

	Спальня	Все прочие помещения, кроме кухни	47	51	47	51	+4	+4
		Кухня	51	54	51	54		
Школы	Классная комната Помещение для собраний	Помещения с интенсивным шумом, например спортзалы, актовые залы	62	62	62	62	+14	+24
		Производственные мастерские, музыкальная комната	54	62	57	62		
		Комната отдыха	51	54	51	54	+4	+14

ТАБЛИЦА 7. ДОПУСТИМЫЕ УРОВНИ ШУМА [374]

№ п.п.	Тип помещения	Вид шума, к которому относятся требования	Промежуток времени в течение суток, ч	Средний уровень $L_{ср}$, дБ (А)	
				допустимое максимальное значение	рекомендуемое значение
1	2	3	4	5	6
1	Палата, например, в больнице, санатории	Шум снаружи и шум от оборудования, которым оснащено помещение	6—22 22—6	35 30	30 30
2	Помещения для занятий (зрительные залы, классные комнаты), для пребывания детей в школах, дошкольных учреждениях		Постоянно	40	35
3	Детские спальни в яслях, садах, школьных группах продленного дня		6—22 22—6	40 30	35 30
4	Гостиные в кафе, ресторанах	Шум от технического оборудования во время его использования	Постоянно	45	40
5	Большие гостиные			50	45
6	Кассовые залы			55	50
7	Жилые помещения в жилых зданиях и общежитиях		6—22 22—6	40 30	30 30
8	Комнаты для ночлега, в гостиницах, домах для приезжих	Шум всех видов, который не может быть следствием использования помещения. При пустых необорудованных помещениях измеренные значения следует относить на эквивалентную звукопоглощающую поверхность площадью 10 м²	6—22 22—6	40 45	30 35
9	Концертные залы, зрительные залы в театрах	Шум всех видов, который не может быть следствием использования помещения		30	30
10	Читальные залы, многоцелевые помещения			35	30
11	Залы заседаний, кинотеатры			40	35
12	Прочие помещения для собраний			55	50

ТАБЛИЦА 8. ДОПУСТИМЫЕ УРОВНИ ШУМА НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ [374])

№ п. п.	Назначение помещения и (или) вид деятельности	Вид шума, к которому относятся требования	Средний уровень шума $L_{A_{ср}}$, дБ (А)	
			допустимое максимальное значение	рекомендованное значение
1	2	3	4	5
1	Рабочие помещения для творческой деятельности	—	50	45
2	Лечебные, лабораторные помещения в медицинских учреждениях, например в больницах, поликлиниках, амбулаториях с высокими требованиями	—	40	35
	То же, с невысокими требованиями	—	55	50
3	Рабочие помещения для нетворческой деятельности, например для делопроизводителей, бухгалтеров, администраторов	Обычная шумовая обстановка, за исключением производимого шума в процессе деятельности	60	55
4	Рабочие помещения с машинописным бюро, электрическими печатающими устройствами, например, для механизации бухгалтерских расчетов, табулирования на счетных станциях	—	70	65
	То же, перфорированием, проверкой, расчетами на счетных станциях	—	75	65
5	Рабочие помещения для выполнения наблюдений, измерений, управления, административной деятельности с высокими требованиями	—	65	55
	То же, с невысокими требованиями	—	70	65
			Уровень звукового давления L_B дБ (А)	
6	Рабочие места с деятельностью, при которой повышаются требования к слышимости акустических сигналов и разборчивости речи, например передвижные платформы	Обычная шумовая обстановка, включая шум, производимый во время выполнения работы	85	80
7	Все рабочие места во избежание повреждений органов слуха при более чем пятичасовом воздействии шума во время одной рабочей смены		90	—

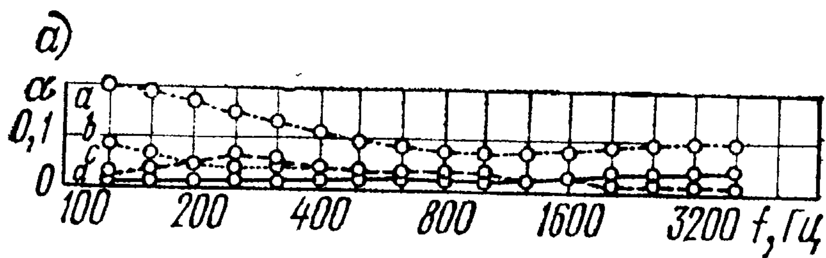
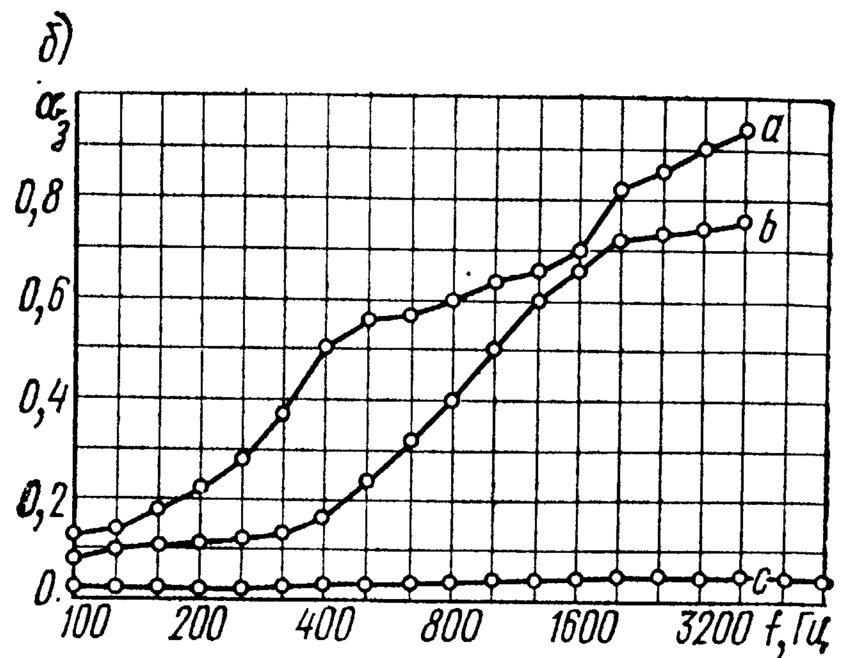


Рис. 180. Коэффициенты звукопоглощения различных материалов и конструкций [10]

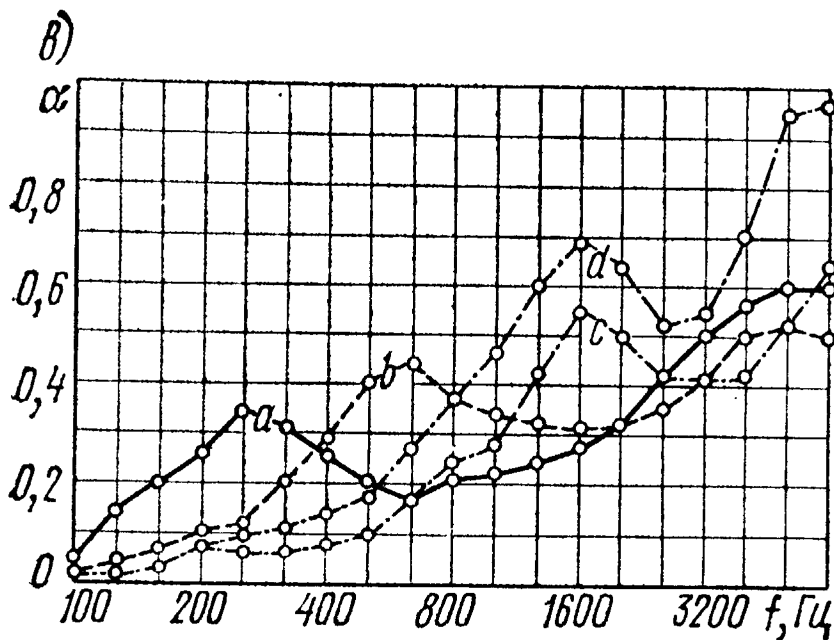
а) Поверхности небольшой поглощающей (абсорбционной) способности

a — простая деревянная облицовка, деревянные двери; *b* — простое окно, $d=3$ мм; *c* — двойное остекление, $d_{1,2}\approx 3$ мм, $d_a=10$ мм; *d* — бетон, кирпичная кладка



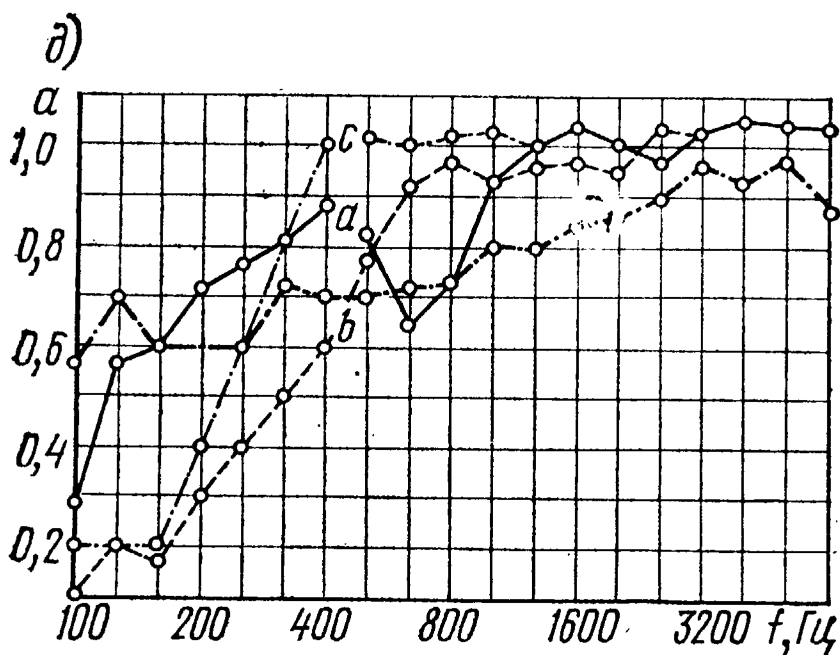
б) Штукатурка

a — пористая с коротковолокнистой минеральной шерстью $d=20$ мм, *b* — то же, $d=10$ мм, в сочетании с обычной внутренней штукатуркой



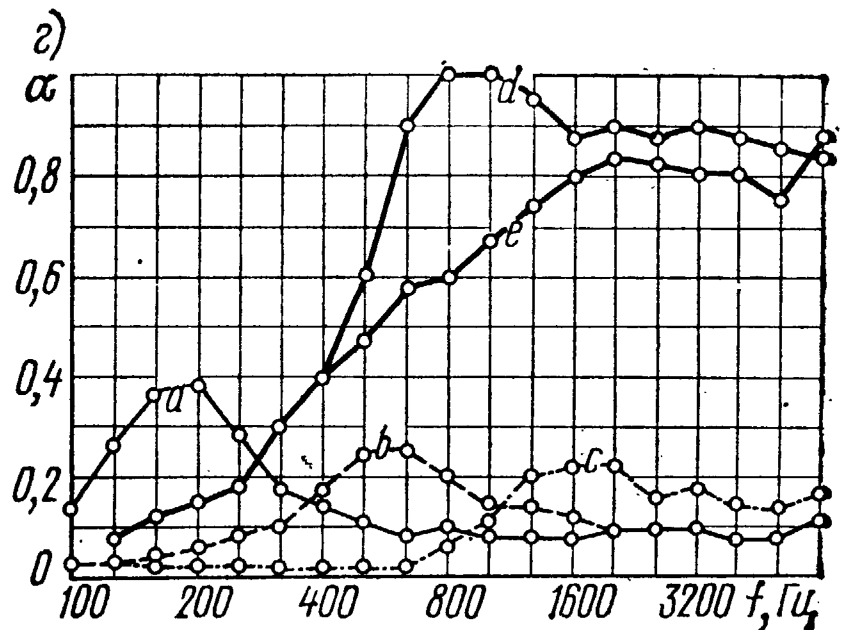
в) Легкие древесноволокнистые плиты на цементной связке, $\rho=400$ кг/м³, $d=25$ мм

a — $d_a=270$ мм; *b* — $d_a=65$ мм; *c* — $d_a=0$ мм; *d* — легкие древесностружечные плиты, улучшенные, с добавкой тонкой стружки, $d_a=0$ мм



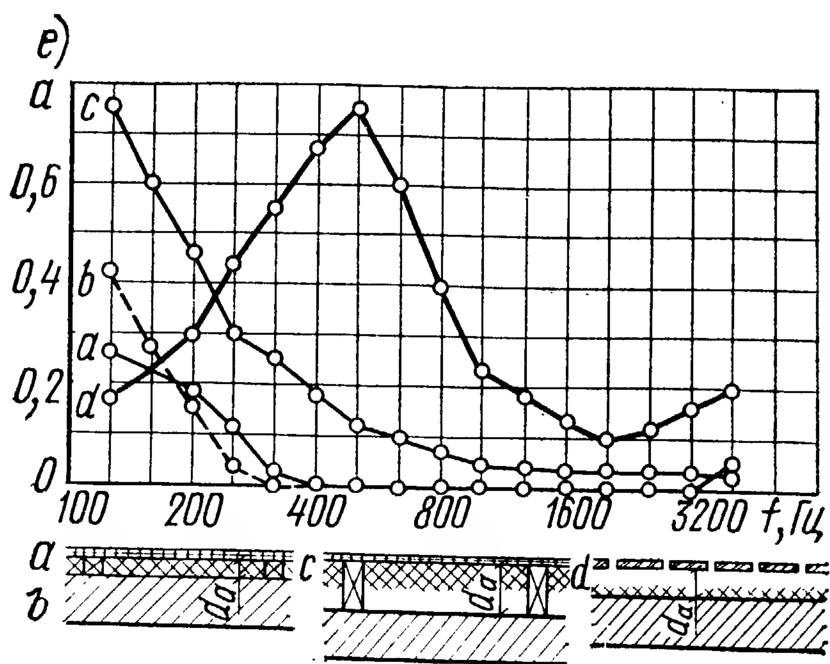
д) Плиты из минерального волокна на связующем из искусственной смолы

a — $\rho=140$ кг/м³, $d=15$ мм, $d_a=270$ мм; *b* — то же, $d_a=65$ мм; *c* — $\rho=100$ кг/м³, $d=50$ мм, $d_a=0$ мм; *d* — $\rho=310$ кг/м³, $d=16$ мм, $d_a=220$ мм (окрашенные и с насечкой)



г) Пенопласты

a — пенополистирол, $\rho=95$ кг/м³, $d=16$ мм, $d_a=270$ мм; *b* — то же, $d_a=65$ мм; *c* — то же, $d_a=0$ мм; *d* — полиуретан (на базе сложного полиэфира), $\rho=30$ кг/м³, $d=30$ мм, $d_a=0$ мм; *e* — то же, на базе простого полиэфира



е) Конструкции с деревянной облицовкой

a — фанера с изоляцией внутренней стороны (d=19 мм, M=12 кг на 1 м^2, d_a=30 мм); *b* — то же, без изоляции; *c* — плита из клееной фанеры (d=6 мм, d_a= 10 мм) со слоем изоляционного материала толщиной 50 мм на внутренней стороне; *d* — деревянная облицовка (d=20 мм, d_a=50 мм), 20 мм изоляционного материала перед несущей стеной

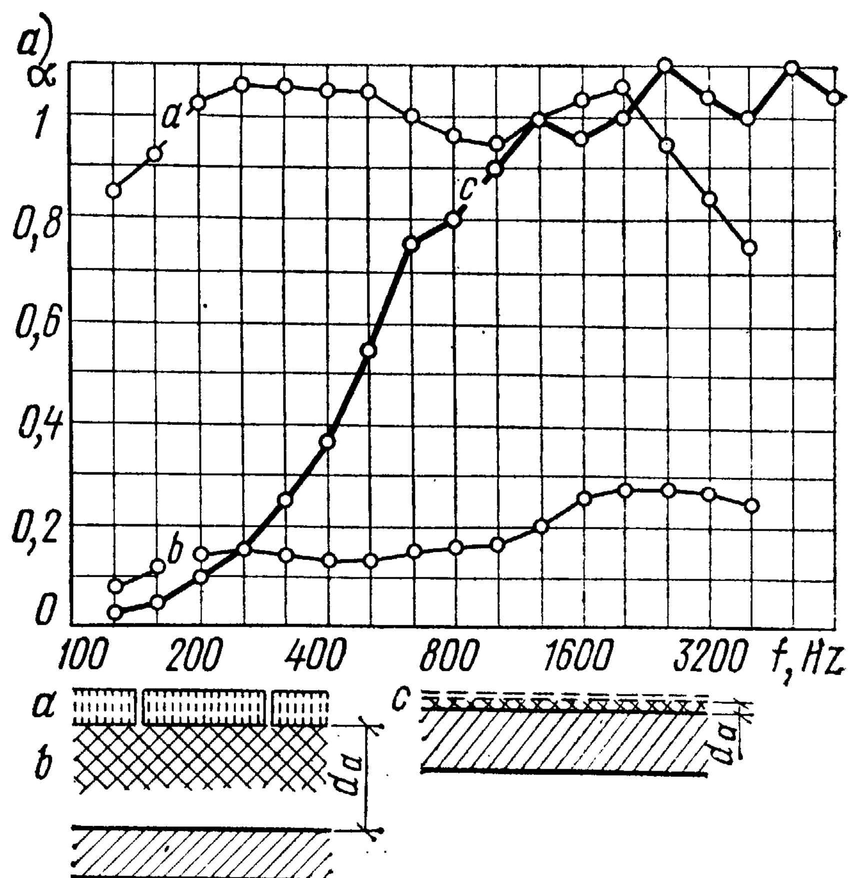
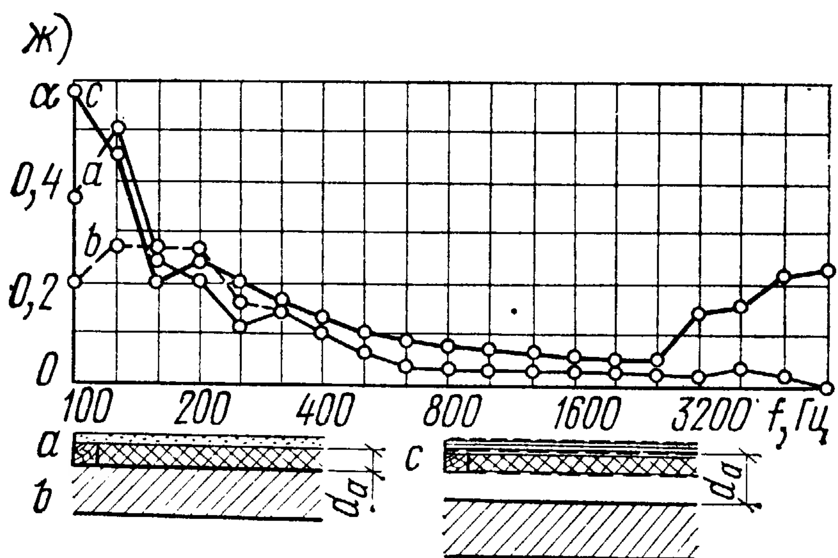


Рис. 181. Коэффициенты звукопоглощения различных конструкций [10]

а) Пустотелый кирпич и специальные обои

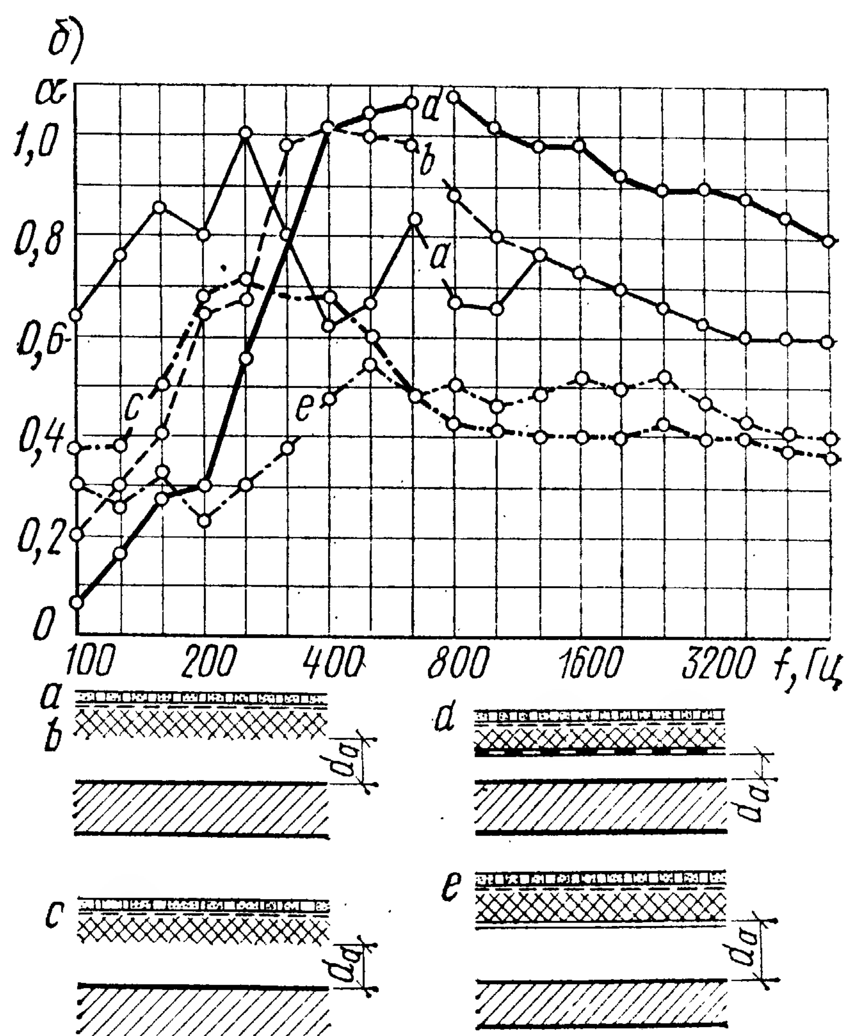
a — кирпич 240×240×60 мм, доля пустот 40%, d_a=200 мм, изоляционный материал толщиной 130 мм; *b* — d_a=200 мм, без изоляционного материала; *c* — звукопоглощающие обои из искусственной пленки (доля пустот 15%) по полихлоридно-волокнистому мату (d_a), M=1,5 кг (1 м^2)



ж) Гипсокартонные и твердоволокнистые плиты

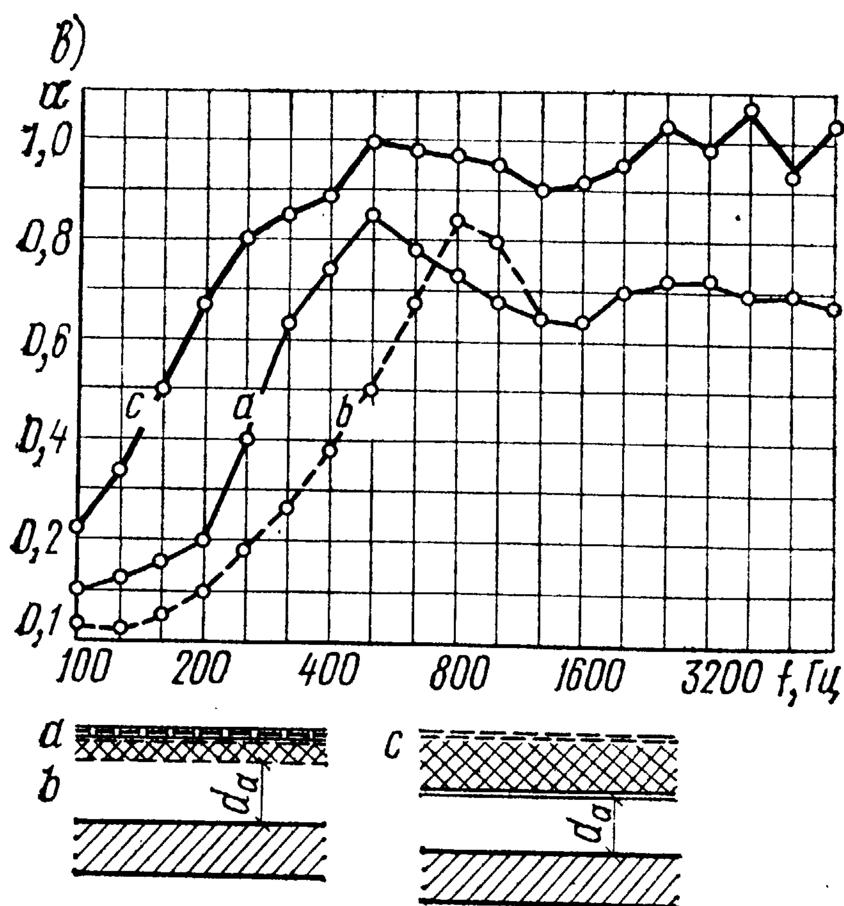
Гипсокартонные плиты, d=12,5 мм, M=11 кг (1 м^2) a_a=30 мм

a — с плитой из минерального волокна толщиной 20 мм; *b* — без минерально-волокнистой плиты; *c* — твердоволокнистые плиты, d=2×3,5 мм, M=14 кг (1 м^2), обтянутые перфорированной пленкой из ПХВ, d_a=95 мм.



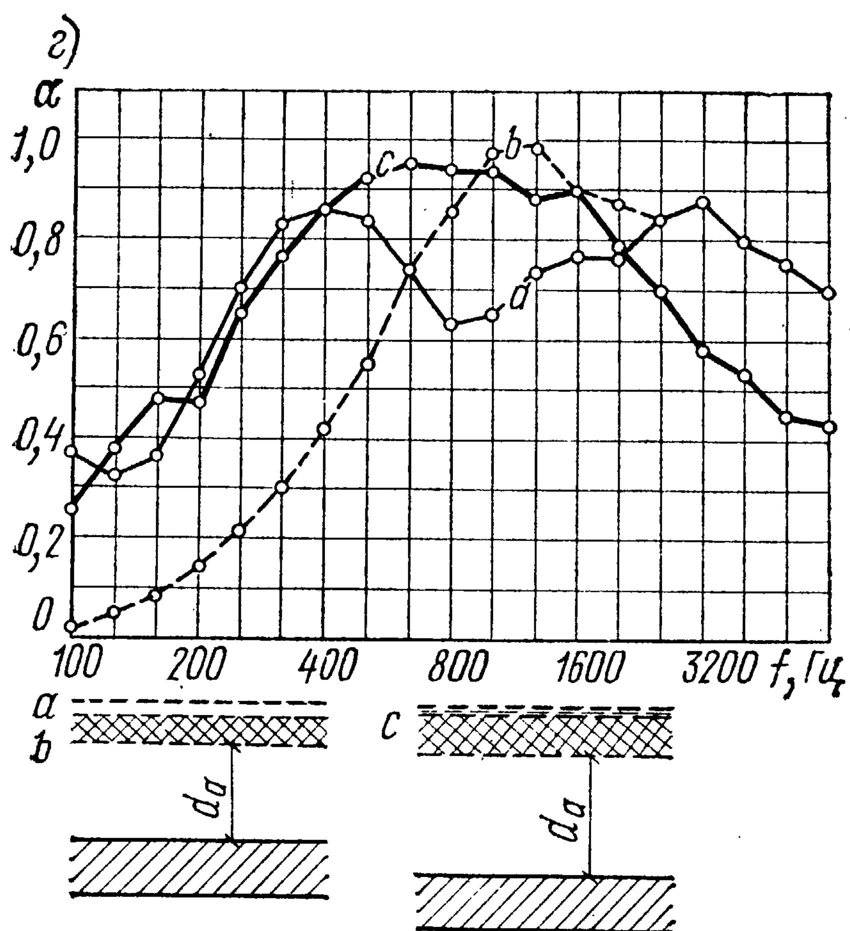
б) Гипсовые кессонные и перфорированные плиты

a — гипсокартонные и перфорированные плиты, d=9,5 мм, ρ=35 кг/м^3, доля пустот — 20%, по стеклоткани и мату из минерального войлока толщиной 30 мм, d_a=360 мм; *b* — то же, d_a=70 мм; *c* — то же, d_a=70 мм, с перфорацией 5%; *d* — армированная стекловолокном гипсовая кессонная плита d=6 мм, ρ=100 кг/м^3, доля пустот — 30%, по ткани, стекловолокно и плита из минерального волокна толщиной 30 мм по алюминиевой фольге, d_a=30 мм; *e* — гипсовая кесонная плита, d=9 мм ρ=70 кг/м^3, доля пустот — 21%, по ткани и стекловолокнистому мату толщиной 50 мм, с твердой древесноволокнистой плитой толщиной 4 мм, d_a=140 мм



в) Твердая древесноволокнистая плита и деревянная кессонная облицовка

a — твердая древесноволокнистая перфорированная плита, *d*=4 мм, M=10 кг (1 м²), доля пустот — 22%, карбамидно-формальдегидный пенопласт — 20 мм, обтянутый тканью, d_a=50 мм; *b* — то же, d_a=0 мм; *c* — деревянная облицовка с обтяжкой ПХВ, доля пустот — 10%, карбамидно-формальдегидный пенопласт (46 мм), обтянутый тканью, по твердой древесноволокнистой плите толщиной 3,5 мм, M≈12 кг (1 м²), d_a=40 мм



г) Металлическая кессонная облицовка

a — тонкая сталь, *d*=0,7 мм, доля пустот — 15%, мат из стекловолокна в полиэтиленовой пленке, *d*=30 мм, M=10 кг (1 м²), d_a=200 мм; *b* — то же, d_a=50 мм; *c* — алюминиевый лист, доля пустот — 20%, по ткани и мату из минерального волокна в полиэтиленовой пленке, *d*=50 мм, M=8 кг (1 м²), d_a=550 мм

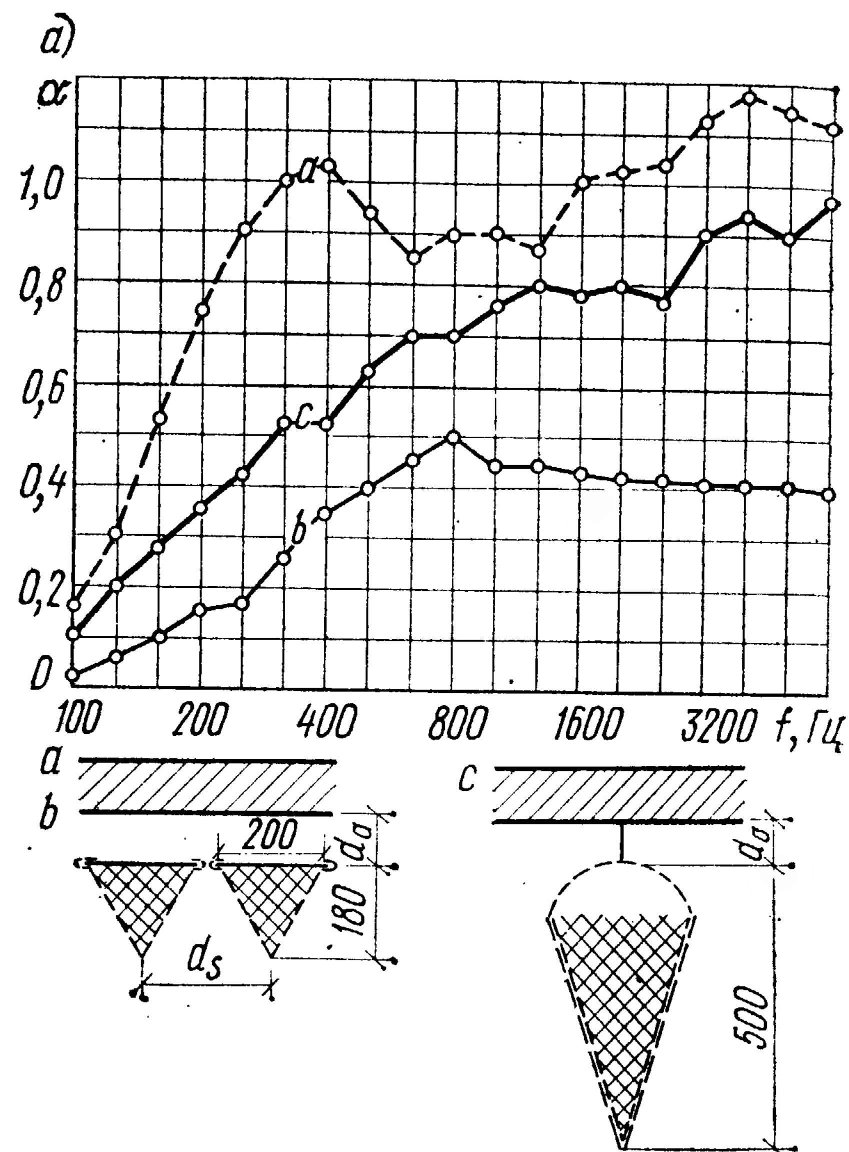
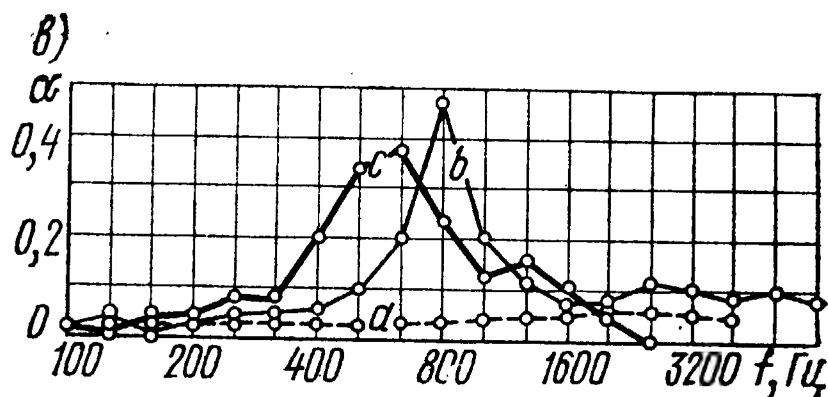


Рис. 182. Коэффициенты звукопоглощения различных конструкций и поверхностей [10]

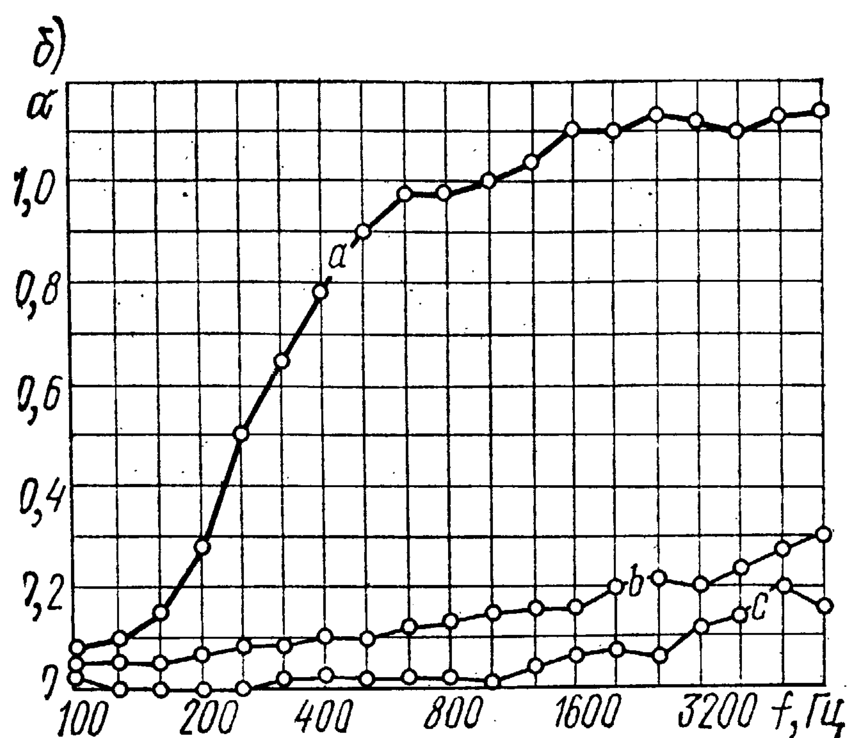
а) Подвесные звукопоглотители

a — минеральное волокно в металлической сетке, ρ=50 кг/м³, d_a=100 мм, d_s=230 мм; *b* — то же, d_a=80 мм, d_s=1000 мм; *c* — конус, 400 мм, расстояние между конусами 750 мм, карбамидо-формальдегидная пеномасса в ткани нижняя часть конуса покрыта поливинилхлоридной перфорированной пленкой, d_a≈500 мм



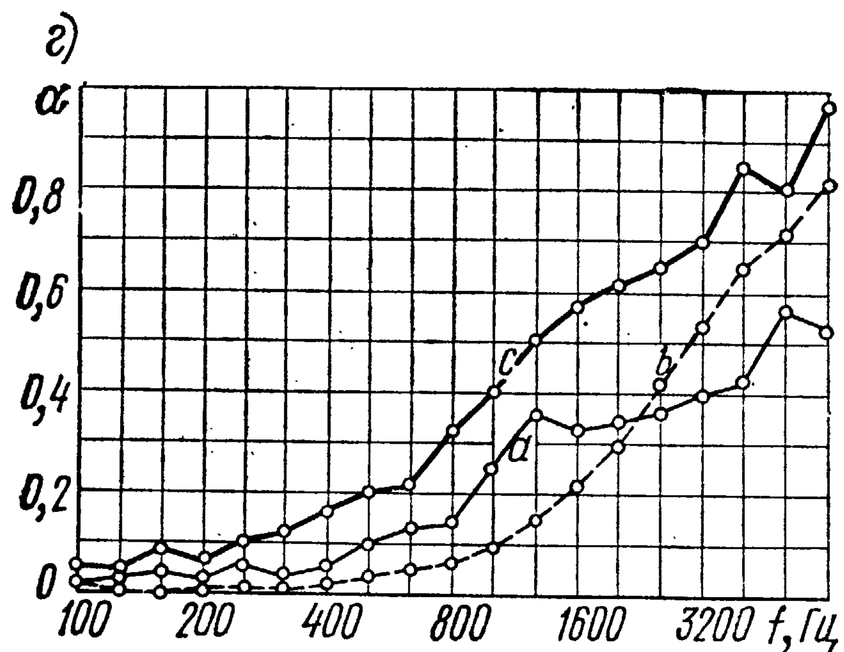
е) Покрытия пола

a — линолеум; *b* — войлок по основанию из поливинилхлорида толщиной 2 мм, *d*=4 мм, M=2,2 кг (1 м²); *c* — нетканый войлок по основанию из поливинилхлорида толщиной 0,5 мм, закрепленный



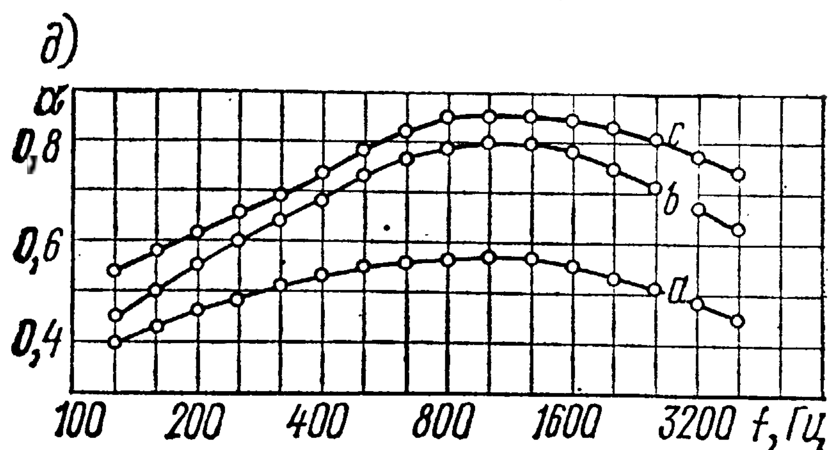
б) **Занавеси**

a — хлопчатобумажный плюш М=0,4 кг (1 м²); *d*а=0—220 мм, свободно подвешенный, сложенный втрое; *b* — искусственный шелк, М=0,17 кг (1 м²), *d*а=0—220 мм, свободно подвешенный, сложенный втрое; *c* — вязаный тюль, М=0,1 кг (1 м²), *d*а= =220 мм, свободно подвешенный, сложенный втрое



г) **Ковры**

a — тканый ковер, аппаратная суконная шерсть с ворсом длиной 5 мм, М=2,7 кг (1 м²); *b* — ковер из фасонной пряжи длиной 3 мм, ворсовая пряжа, М=1,6 кг (1 м²); *c* — бархатный ковер, шерстяной ковер с начесом, длина ворса 8 мм



д) **Публика и кресла**

a **— свободные жесткие кресла;** ***b*** **— свободные мягкие кресла с звукопоглощающим материалом на нижней стороне;** ***c*** **— занятая публикой поверхность**

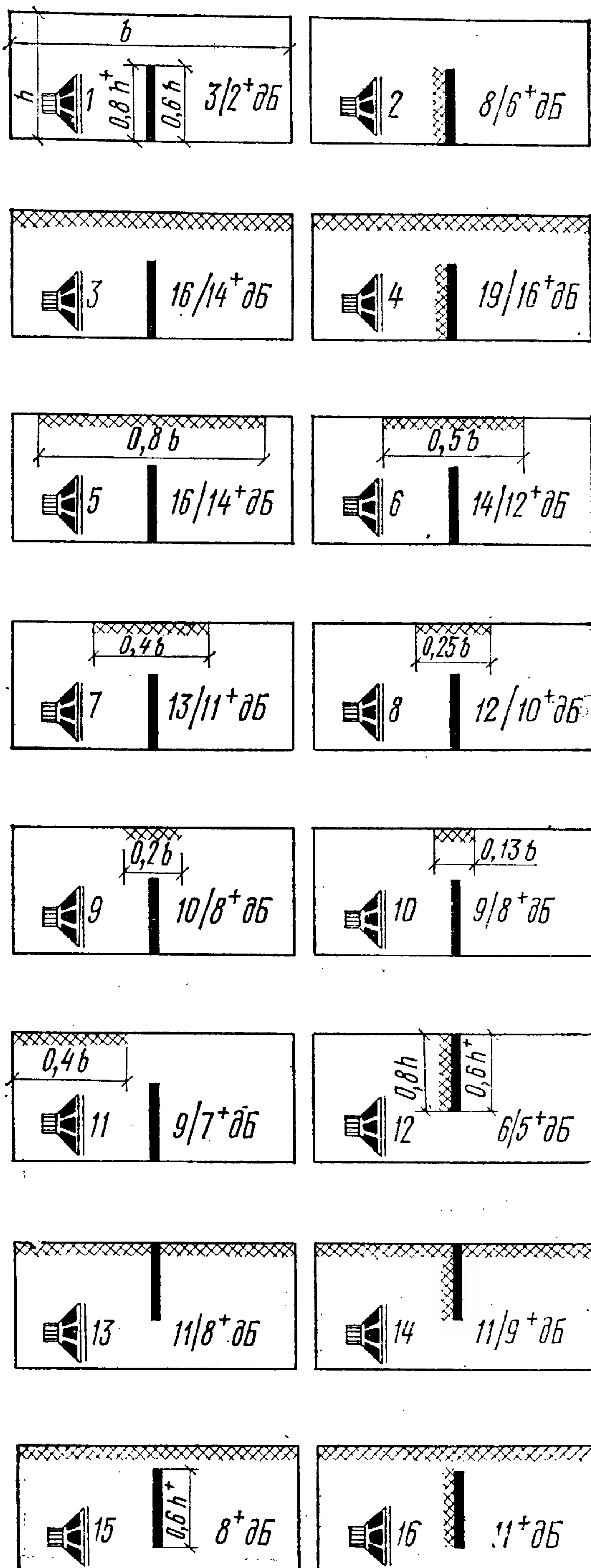


Рис. 183. Снижение уровня звука ΔL экранирующими стенами в помещении с отношением ширины к высоте $b : h$=2,5 и длины к высоте $l : h$=5 [10]

высота экранирующей стены — 0,8 *h* или 0,6 *h*+; коэффициент звукопоглощения облицованных плоскостей — 0,95; коэффициент звукопоглощения остальных плоскостей — 0,05

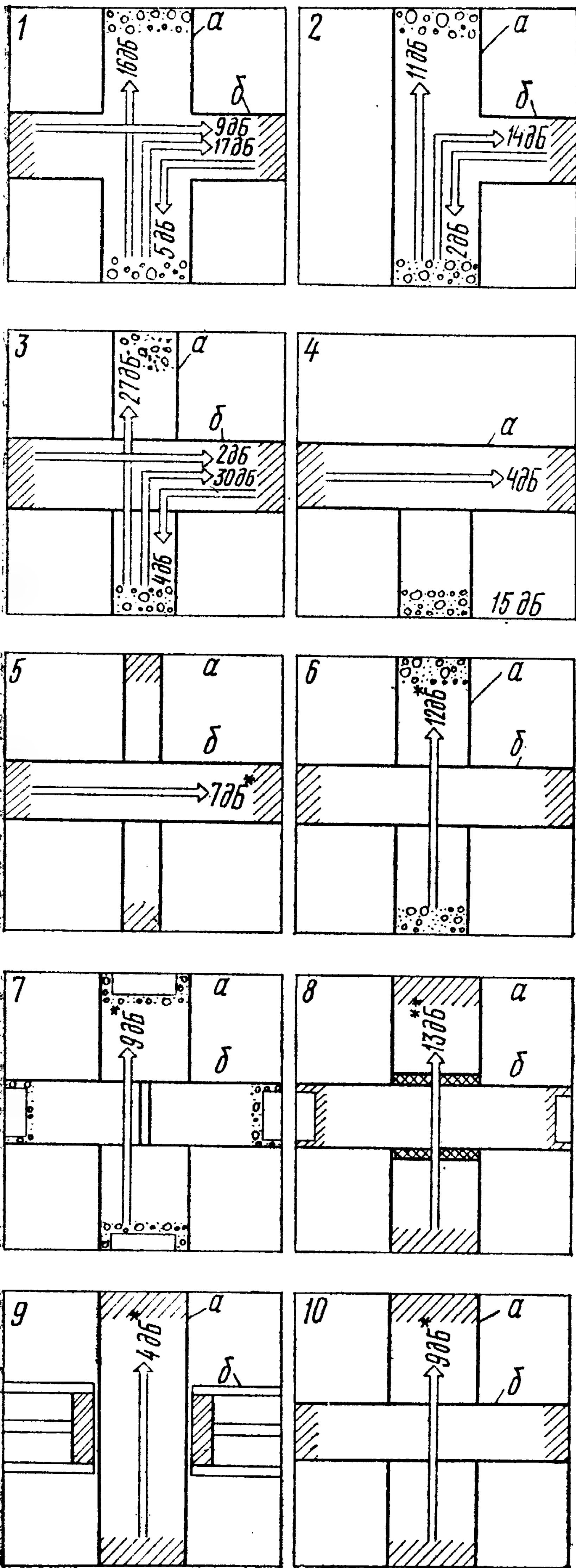


Рис. 184. Звукоизоляция стыков R_c различных конструкций (среднее значение 400—3200 Гц) [3]

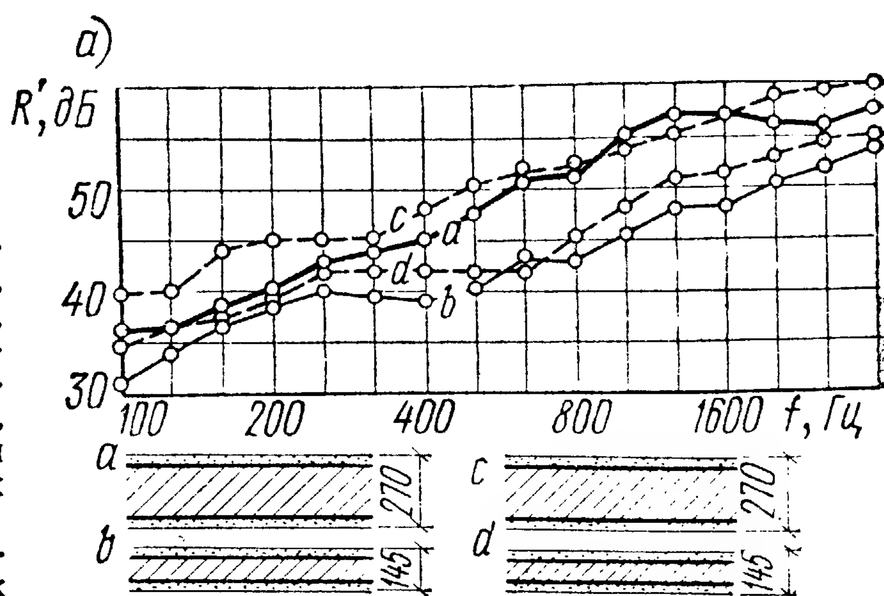
1: *а* — пемзобетон, 25 см; *б* — бетон, 16 см; 3: *а* — пемзобетон, 25 см; *б* — бетон, 16 см; 3: *а* — пемзобетон, 11 см; *б* — бетон, 16 см; 4: *а* — бетон, 12 см; *б* — пористый бетон, 15 см; 5: *а* — бетон, 7,5 см; *б* — бетон, 12 см; 6: *а* — пористый бетон, 15 см; *б* — бетон, 12 см; 7: *а* — стена из пустотелых пемзобетонных блоков, 24 см; *б* — перекрытие в виде пустотного настила; 8: *а* — кирпич, 24 см; *б* — настил из бетонных пустотелых балок, 14 см; 9: *а* — бетон, 25 см; *б* — деревянное балочное перекрытие; 10: *а* — бетон, 25 см; *б* — бетон, 12 см
× — едьничная оценка при 500 Гц; ×× — единичная оценка при 500 Гц без легких древесноволокнистых плит [3]

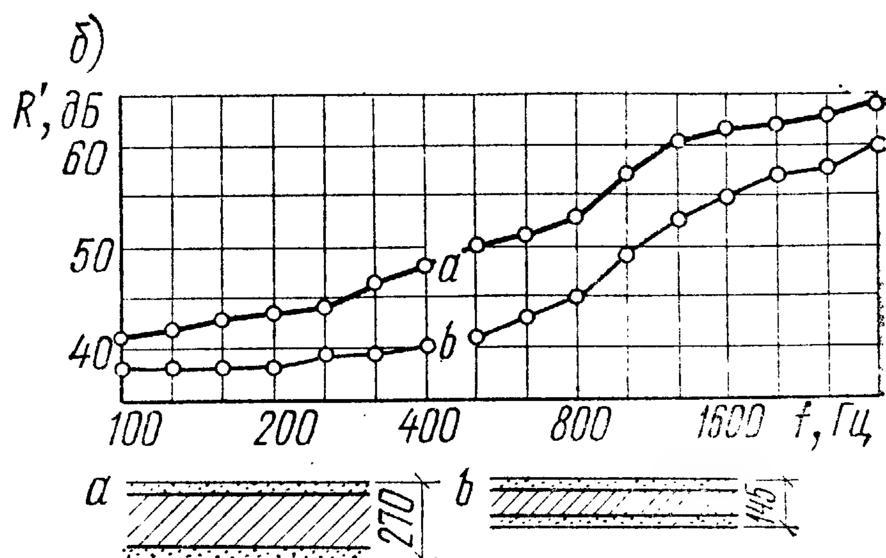
Рис. 185. Звукоизоляция однослойных тяжелых, жестких на изгиб стен от воздушного шума [10]

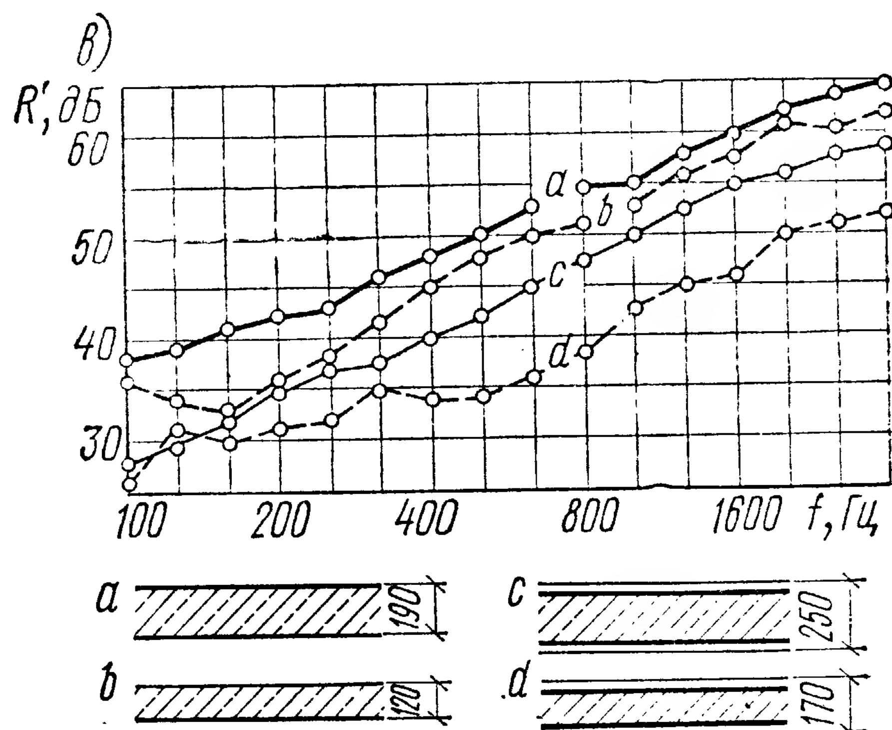
а): *a* — кирпич с вертикальными пустотами, 240 мм, оштукатуренный с обеих сторон, М=320 кг (1 м²), R_w'=52 дБ; *b* — кирпич с вертикальными пустотами, 115 м/см, оштукатуренный с обеих сторон, М=210 кг (1 м²), R_w'=46 дБ; *c* — полнотелый кладочный кирпич, 240 мм, оштукатуренный с обеих сторон, М=480 (1 м²), R_w'=55 дБ; *d* — полнотелый кладочный кирпич, 115 мм, оштукатуренный с обеих сторон, М=260 кг (1 м²), R_w'=48 дБ

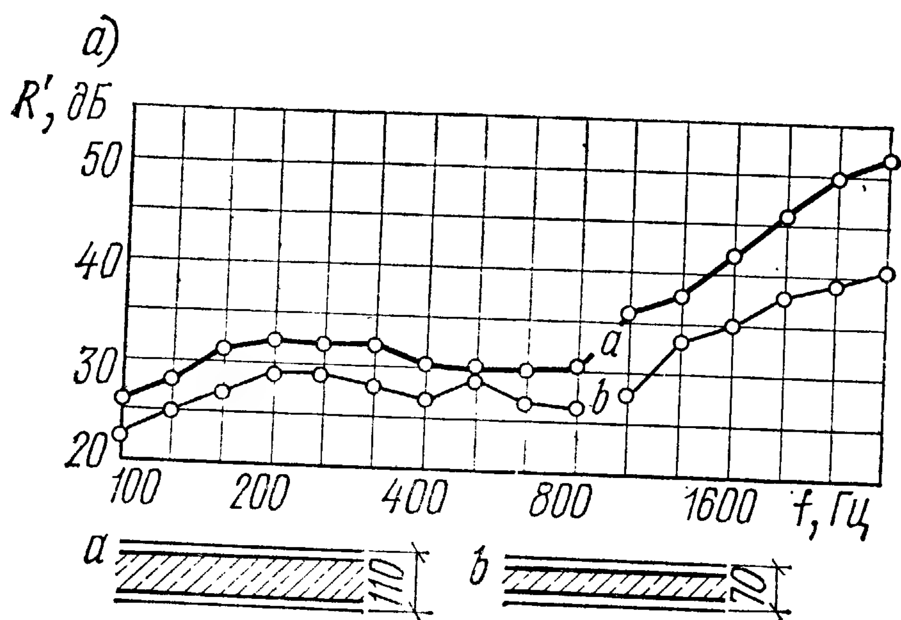
б): *a* — полнотелый силикатный кирпич, 240 мм, оштукатуренный с обеих сторон, М=480 кг (1 м²), R_w'=55 дБ; *b* — полнотелый силикатный кирпич, 115 мм, оштукатуренный с обеих сторон, М=260 кг (1 м²), R_w'=48 дБ

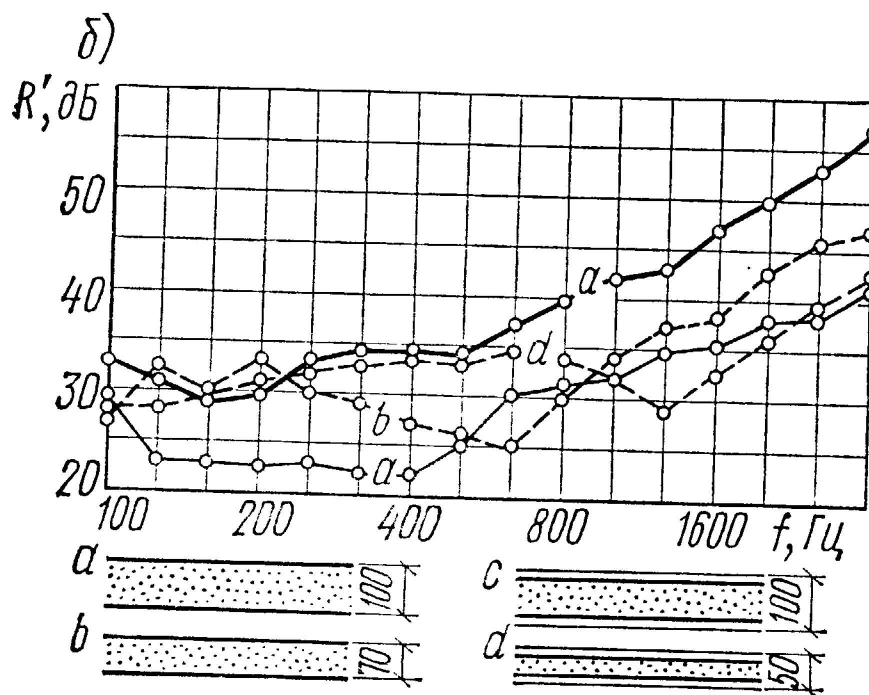
в): *a* — тяжелый бетон, 190 мм, плотной структуры, М=430 кг (1 м²); R_w'=54 дБ; *b* — тяжелый бетон, 120 мм, плотной структуры, М=300 кг (1 м²), R_w'=50 дБ; *c* — газосиликатный бетон, 240 мм, оштукатуренный с обеих сторон, М=190 кг (1 м²), R_w'=46 дБ; *d* — газосиликатный бетон, 160 мм, оштукатуренный с обеих сторон, М=100 кг (1 м²), R_w'=40 дБ











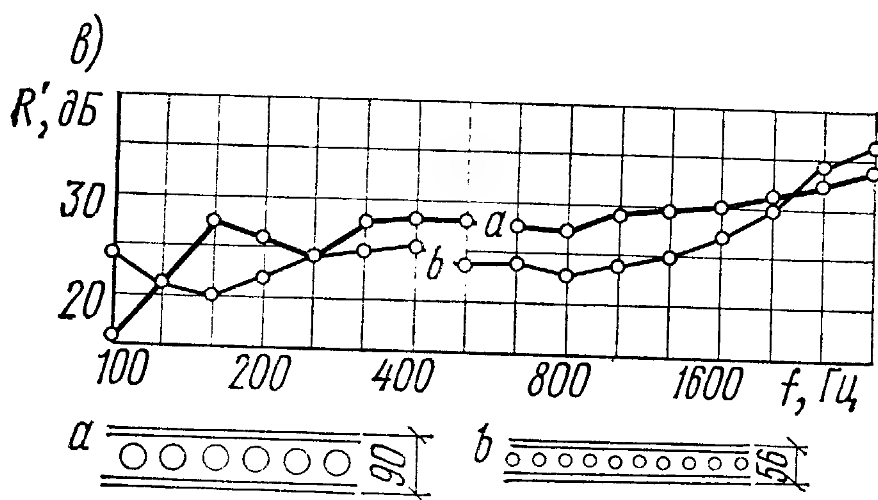


Рис. 186. Звукоизоляция однослойных, легких, жестких на изгиб стен от воздушного шума [10]

а): *а* — газосиликатный бетон, 100 мм, оштукатуренный с обеих сторон, М=85 кг (1 м²), R_w'=36 дБ; *b* — газосиликатный бетон, 60 мм, оштукатуренный с обеих сторон, М=60 кг (1 м²), R_w'=32 дБ;

б): *а* — гипс, 100 мм, М=105 кг (1 м²), R_w'=41 дБ; *b* — гипс, 70 мм, М=85 кг (1 м²), R_w'=32 дБ; *с* — пористый гипс, 80 мм, с двусторонней обшивкой из чистого гипса, армированного стекловолокном (около 10 мм), М=80 кг (1 м²), R_w'=31 дБ; *d* — пористый гипс, 30 мм, остальное, как *bс*, М=45 кг (1 м²), R_w'=33 дБ

в): *а* — многопустотная древесностружечная плита, 90 мм, с обшивкой с двух сторон из твердой древесноволокнистой плиты толщиной 3,2 мм, М=38 кг (1 м²), R_w'=30 дБ; *b* — то же, многопустотная древесностружечная плита толщиной 56 мм, М=24 кг (1 м²), R_w'=26 дБ

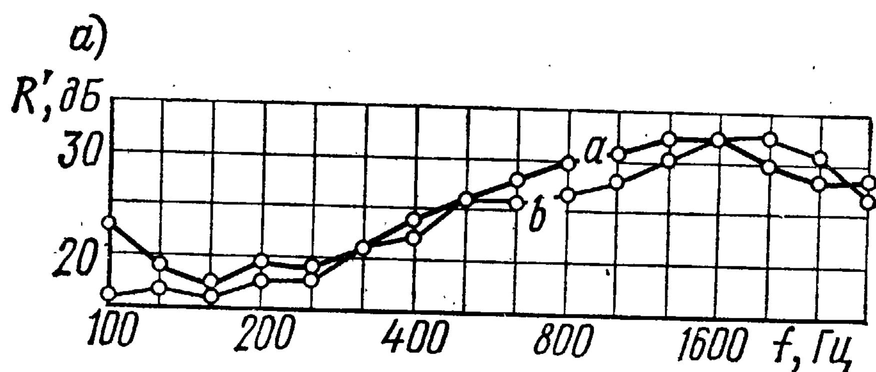
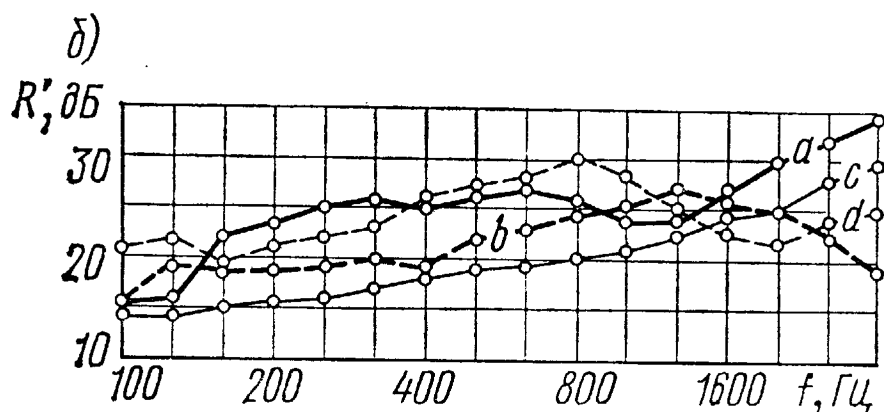
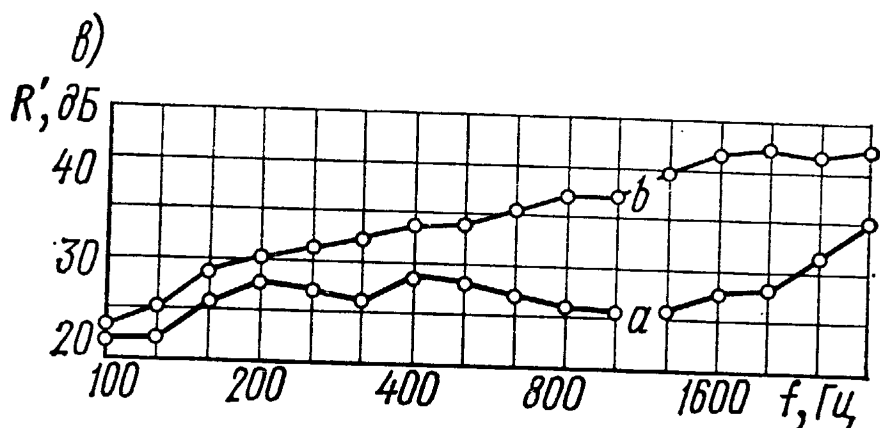


Рис. 187. Звукоизоляция однослойных легких гибких стен от воздушного шума [10]

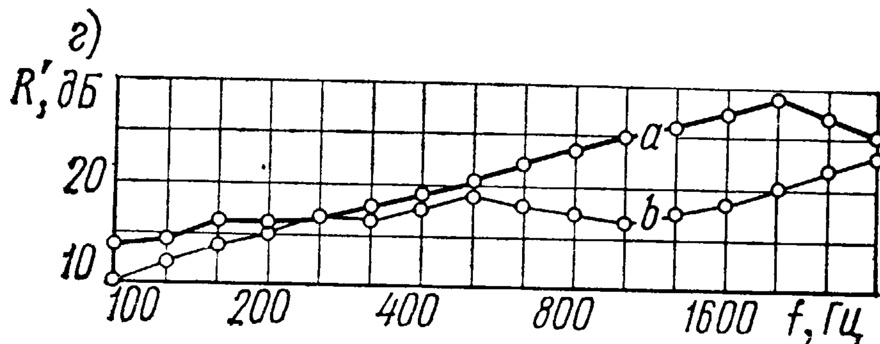
а): *а* — гипсовые плиты толщиной 10 мм, М=10 кг (1 м²), R_w'=29 дБ; *b* — гипсовые плиты толщиной 7 мм, М=7 кг (1 м²), R_w'=28 дБ



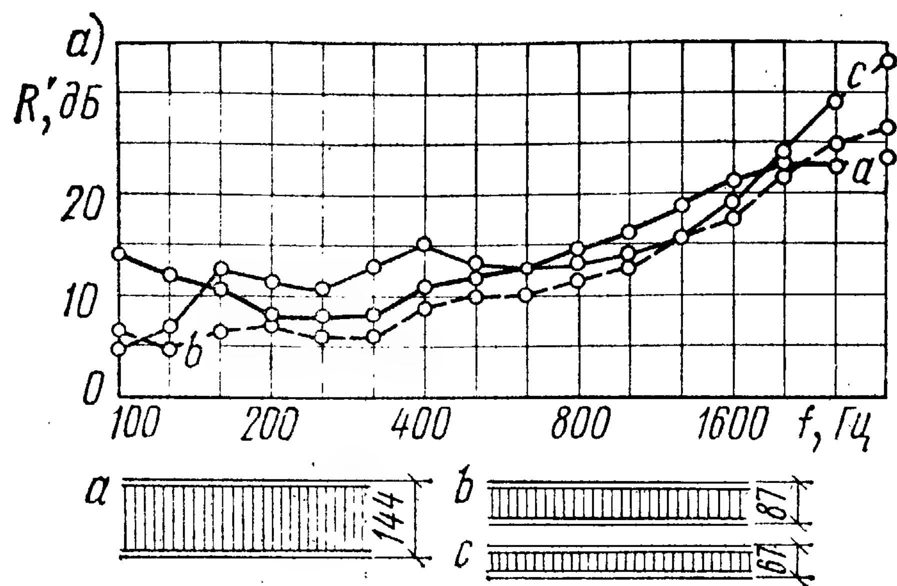
б): *а* — плиты из клееной фанеры (дерево) толщиной 25 мм, М=15 кг (1 м²), R_w'=27 дБ; *b* — то же, толщиной 10 мм, М=7 кг (1 м²), R_w'=24 дБ; *с* — плиты из клееной фанеры (твердые древесноволокнистые плиты), 4 мм, М=3 кг (1 м²), R_w'=22 дБ; *d* — то же, толщиной 19 мм, М=15 кг (1 м²), R_w'=26 дБ

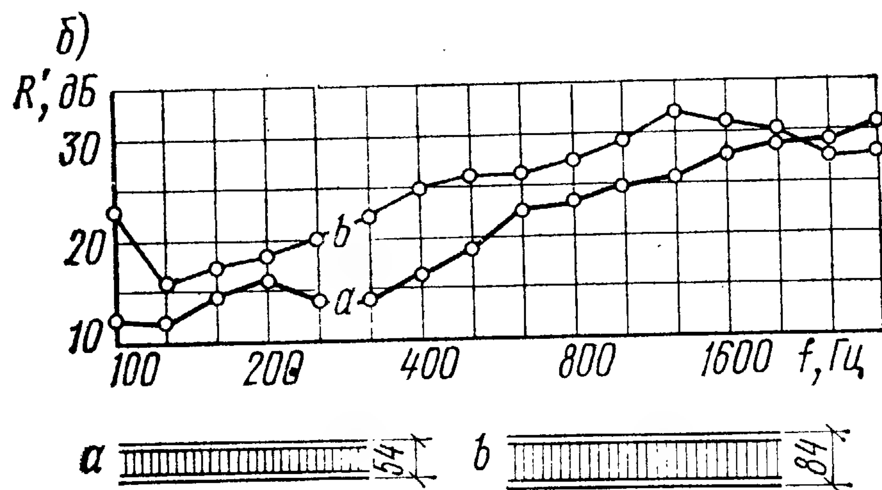


в): *а* — легкие строительные плиты из древесной шерсти толщиной 50 мм с гипсовой обшивкой толщиной 5—10 мм, М=40 кг (1 м²), R_w'=28 дБ; *b* — то же, толщиной 50 мм, оштукатуренные с обеих сторон (15 мм), М=75 кг (1 м²); R_w'=36 дБ



г): *а* — тонкая сталь трапецеидального профиля толщиной 1 мм, М=11 кг (1 м²); R_w'=23 дБ; *b* — волнистый асбестоцемент толщиной 6 мм, М=13 кг (1 м²); R_w'=20 дБ





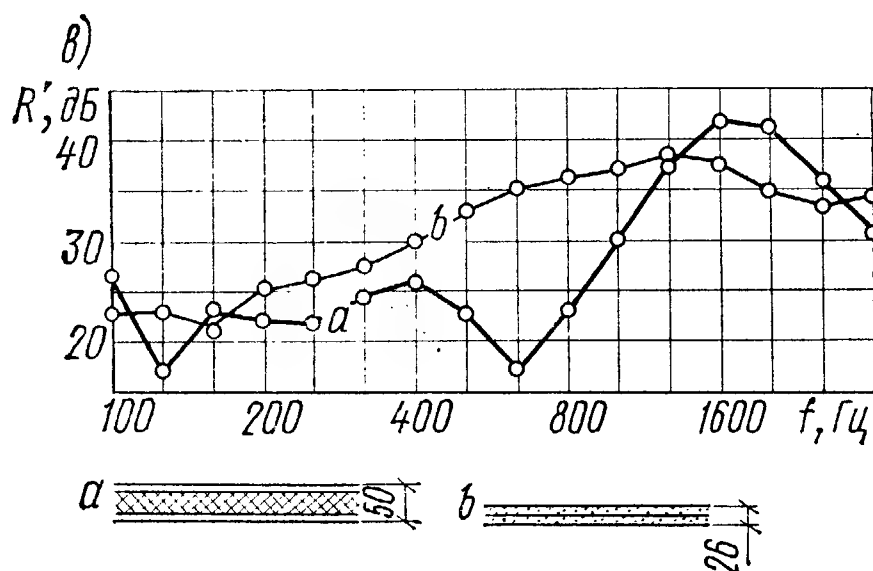


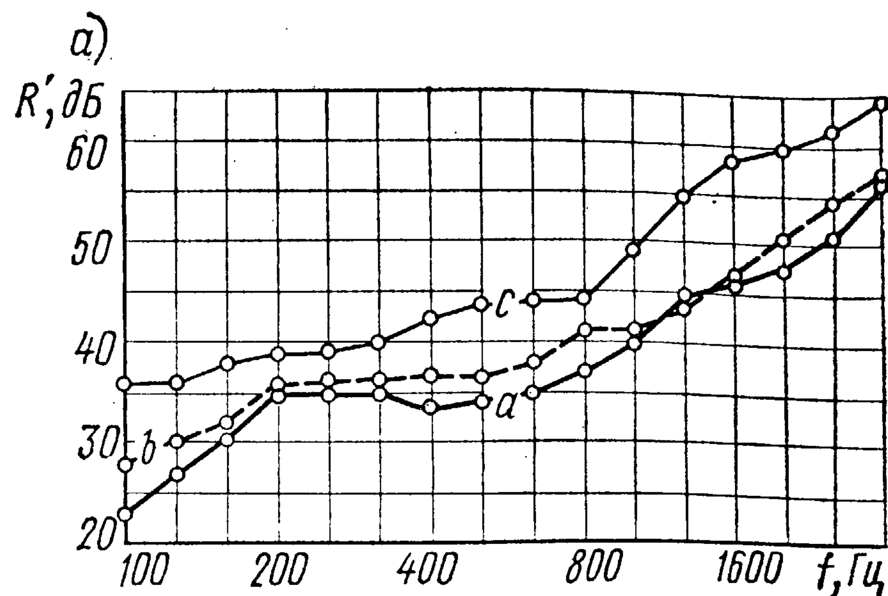
Рис. 188. Звукоизоляция одинарных, многослойных стен от воздушного шума [10]
а) Пропитанные искусственной смолой бумажные соты с фанерной обшивкой

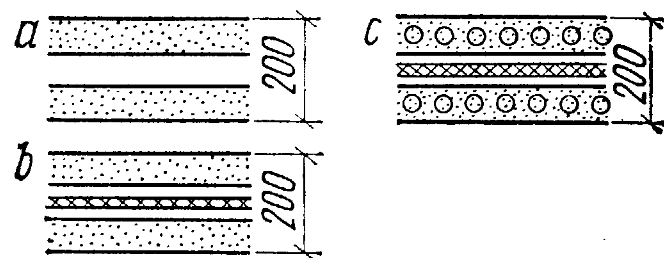
a — толщина сот 140 мм, обшивки 2 мм, М=7 кг (1 м²), R_w'=26 дБ; *b* — толщина сот 75 мм, обшивки 6 мм М=10 кг (1 м²), R_w'=24 дБ; *c* — толщина сот 40 мм, обшивки 14 мм, М=20 кг (1 м²), R_w'=27 дБ

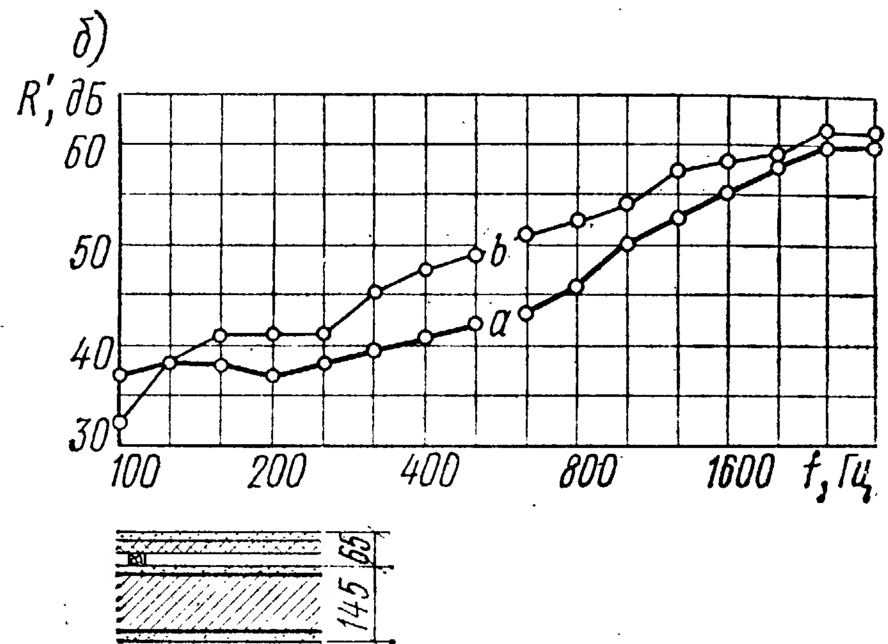
б) Пропитанные искусственной смолой бумажные соты с обшивкой из гипса

a — толщина сот 40 мм, обшивки 7 мм, М=20 кг (1 м²), R_w'=24 дБ; *b* — толщина сот 40 мм, обшивки из гипсокартона 12,5 мм, М=29 кг (1 м²), R_w'=28 дБ

в): *a* — легкий многослойный элемент с ядром из твердого пенополиуретана, ρ=50 кг/м³, толщиной 30 мм с обшивкой из гипсокартонных плит толщиной 9.5 мм, М=21 кг (1 м²), R_w'=28 дБ; *b* — две гипсовые плиты толщиной по 13 мм, соединенные по краям, М=24 кг (1 м²), R_w'=33 дБ







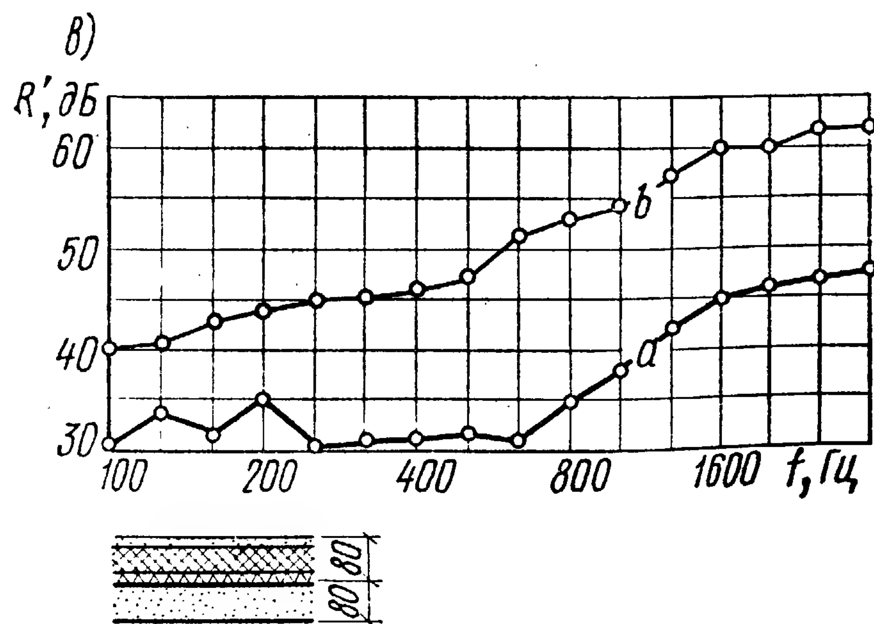


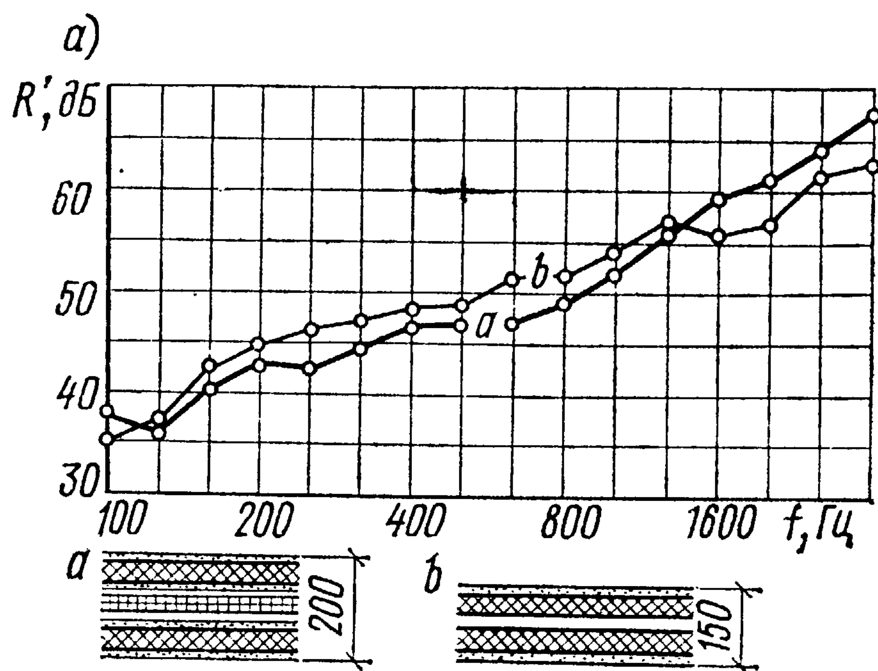
Рис. 189. Звукоизоляция от воздушного шума двухслойных стен из легких жестких на изгиб оболочек или тяжелых жестких на изгиб стен с приставной оболочкой [10]

а): *a* — гипс, 2×70 мм, М=170 кг (1 м²), R_w'=46 дБ; *b* — гипс, 2×70 мм, стекловолокнистые или минерально-волок- =47 дБ; *c* — пустотелые гипсовые плиты, 2×70 мм, с заполнением пустот песком

(в промежутке стекловолокнистые маты толщиной 35 мм), М=150 кг, R_w'=53 дБ

б): *a* — полнотелый силикатный кирпич, 115 мм, оштукатуренный с обеих сторон, М=260 кг (1 м²), R_w'=48 дБ; *b* — то же, но с облицовочным слоем в виде легкой древесноволокнистой плиты толщиной 24 мм на деревянных рейках, оштукатуренной (15 мм), М=290 кг (1 м²), R_w'=52 дБ

в): *a* — гипсовая стена, 80 мм, М=75 кг (1 м²); R_w'=38 дБ; *b* — то же, но с облицовочным слоем в виде легкой древесноволокнистой плиты толщиной 50 мм, оштукатуренной (15 мм), в промежутке — гофрированная бумага, М=120 кг (1 м²), R_w'=52 дБ



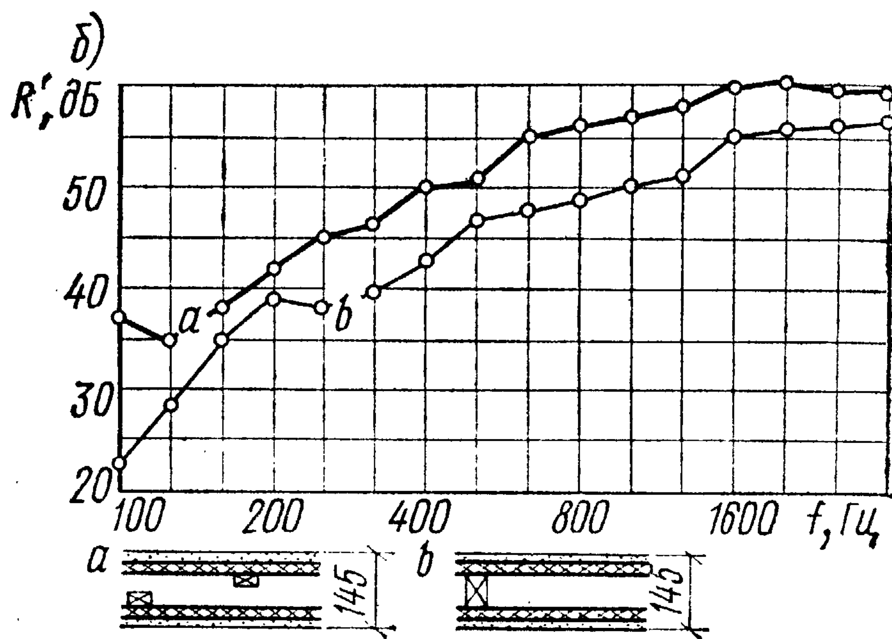


Рис. 190. Звукоизоляция от воздушного шума двойных стен из гибких легких оболочек [10]

а): *a* — легкие древесноволокнистые плиты, 2×50 мм, с гипсовой обшивкой 10 мм (в промежутке — стекловолокнистые маты, 30 мм), М=120 кг (1 м²), R_w'==52 дБ; *b* — легкие древесноволокнистые плиты, 2×50 мм, штукатурка (15 мм), М=110 кг (1 м²), R_w'=53 дБ

б): *a* — легкие древесноволокнистые плиты на раздельных деревянных стойках, 2×25 мм, штукатурка (15 мм), М=80 кг (1 м²), R_w'=55 дБ; *b* — то же, на общем каркасе, М=80 кг (1 м²), R_w'=48 дБ

в): *a* — гипсокартонные плиты толщиной 18 мм на раздельных деревянных стойках, маты из минерального войлока толщиной 20 мм, двойные гипсокартонные плиты толщиной 12,5 мм (прикрепленные одна к другой в отдельных точках), М==55 кг (1 м²), R_w'=53 дБ; *b* — гипсокартонные плиты толщиной по 12,5 мм на раздельных деревянных стойках, маты из минерального волокна толщиной 30 мм, М=25 кг (1 м²), R_w'=47 дБ; *c* — гипсокартонные плиты, 2×12,5 мм, на металлических стойках, М=25 кг (1 м²), R_w'==41 дБ; *d* — то же, но с матом из минерального войлока толщиной 45 мм в промежутке, М=25 кг (1 м²), R_w'=46 дБ

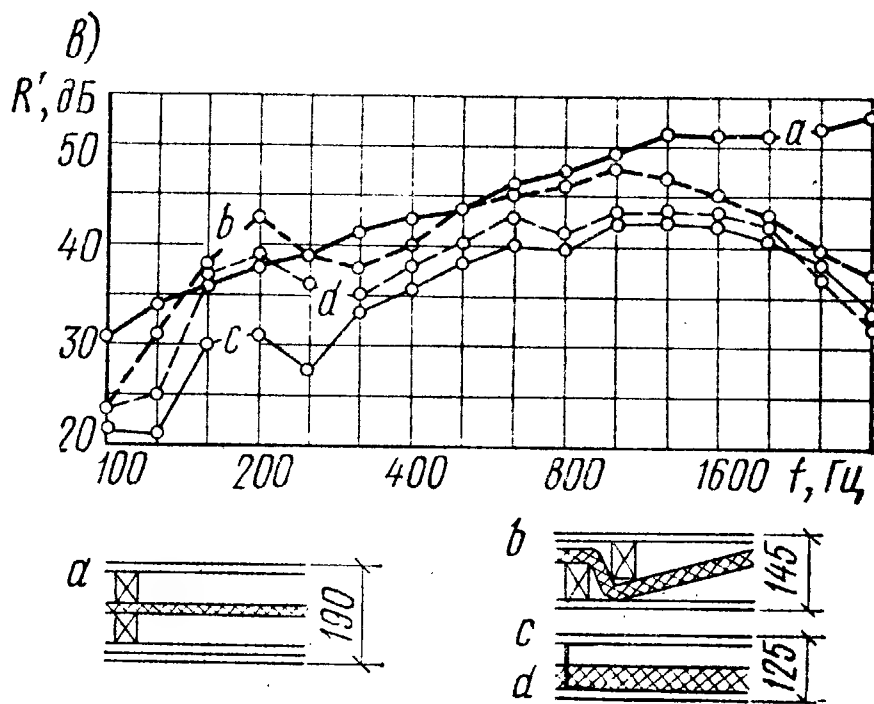


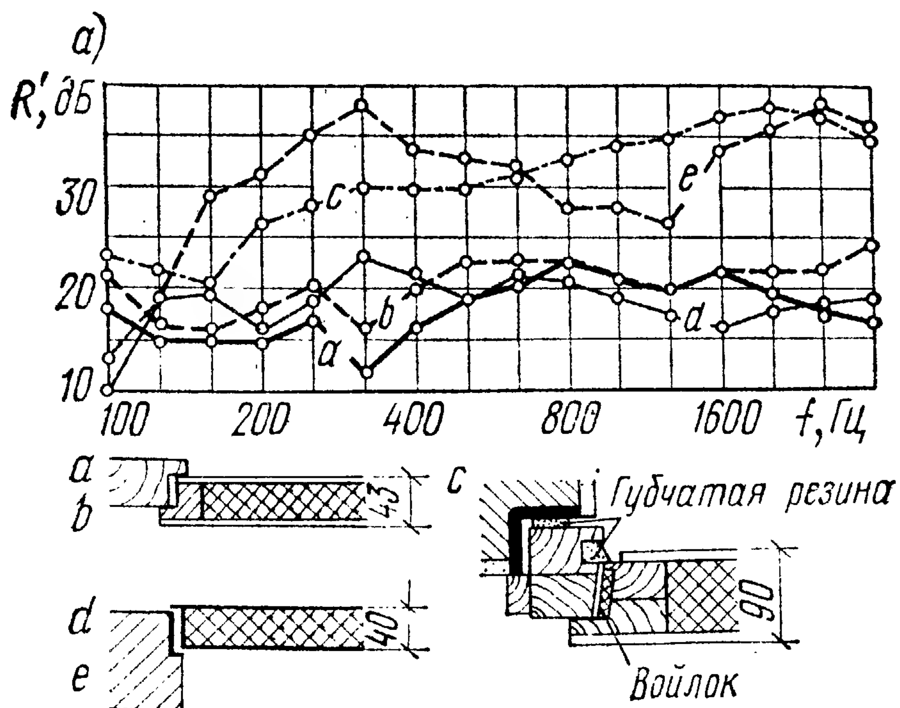
Рис. 191. Звукоизоляция от воздушного шума дверей и окон [10] п. *д)*: *a* — по [106], п. *д)*: *б* и *е* — по [2]

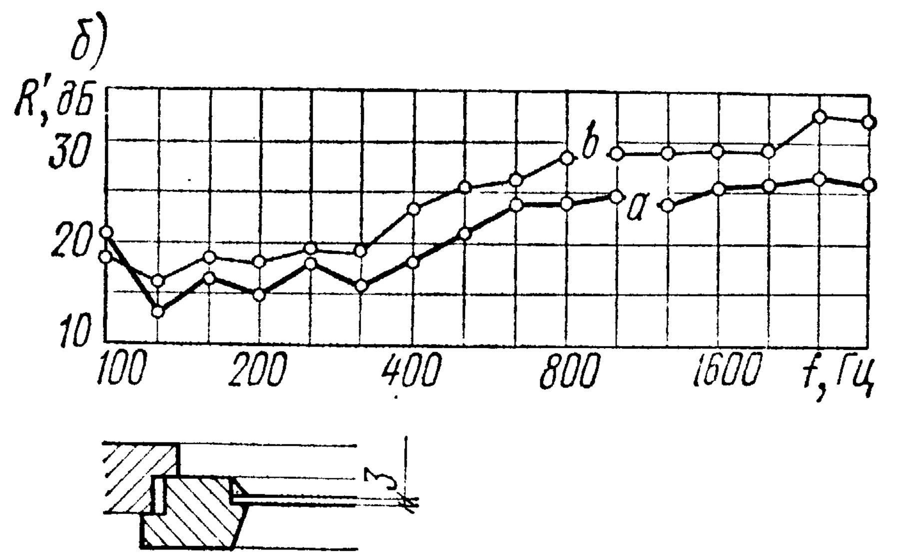
а): *a* — внутренняя дверь из дерева, сотовая сердцевина, 35 мм, обшивки из твердых древесноволокнистых плит, 2×4 мм, М=11 кг, (1 м²), R_w'=19 дБ; *b* — то же, но с уплотнением притворов, R_w'=22 дБ; *c* — специальная дверь: дверное полотно и рама из дерева, стальная дверная коробка, изоляционный материал толщиной 70 мм, прессованные древесноволокнистые плиты, 2×10 мм, М=25 кг (1 м²), R_w'=32 дБ; *d* — огнестойкая стальная дверь, мат из минерального волокна, 40 мм, листовая сталь, 2×1,5 мм, М=40 кг (1 м²), R_w'=20 дБ; *e* — то же, но с уплотнением притворов, R_w==31 дБ

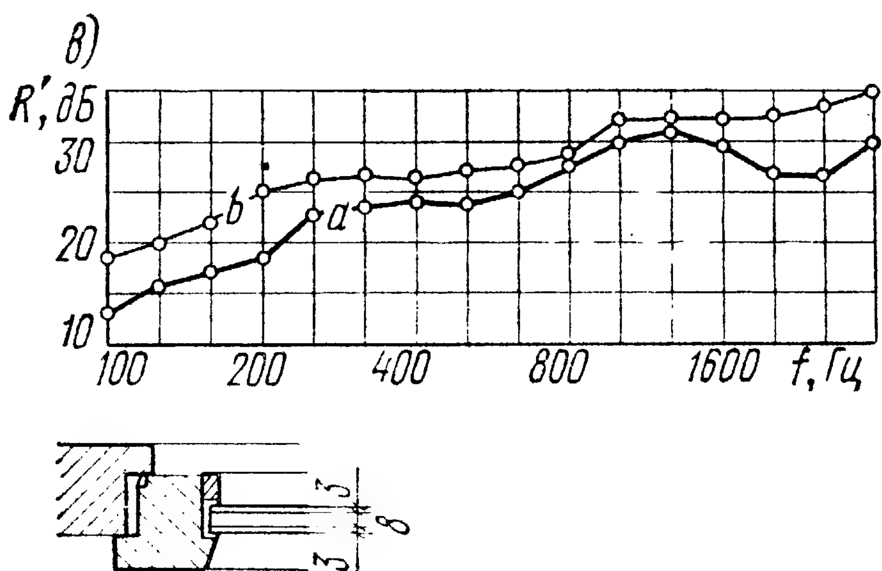
б): а — одинарное деревянное окно, R_w'=24 дБ; *b* — то же, с уплотнением притворов R_w'=28 дБ

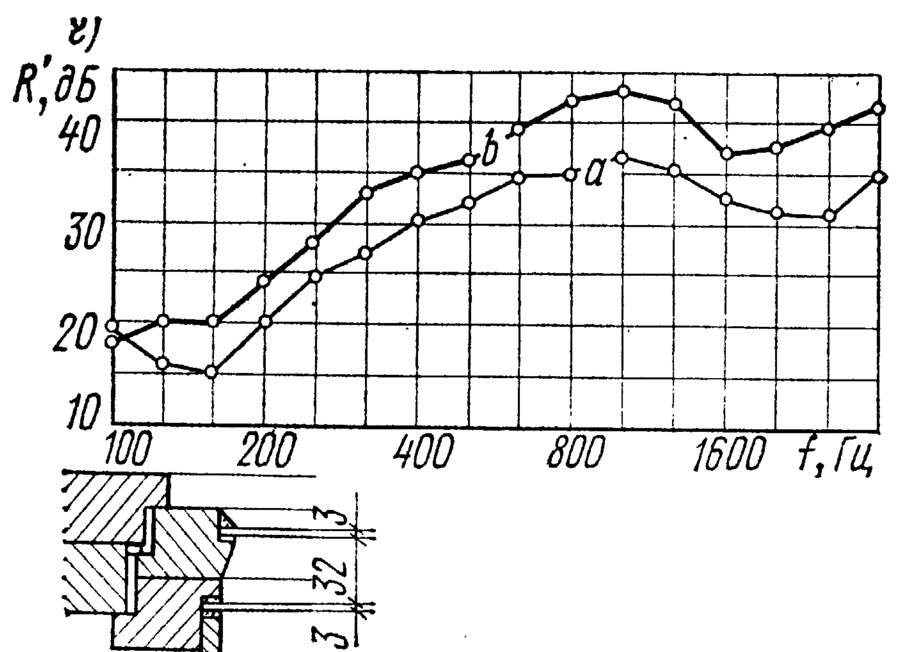
в): *a* — деревянное окно с двойным остеклением, уплотнением притворов, R_w'==27 дБ; *b* — то же, уплотнение установочных швов, R_w'=31 дБ

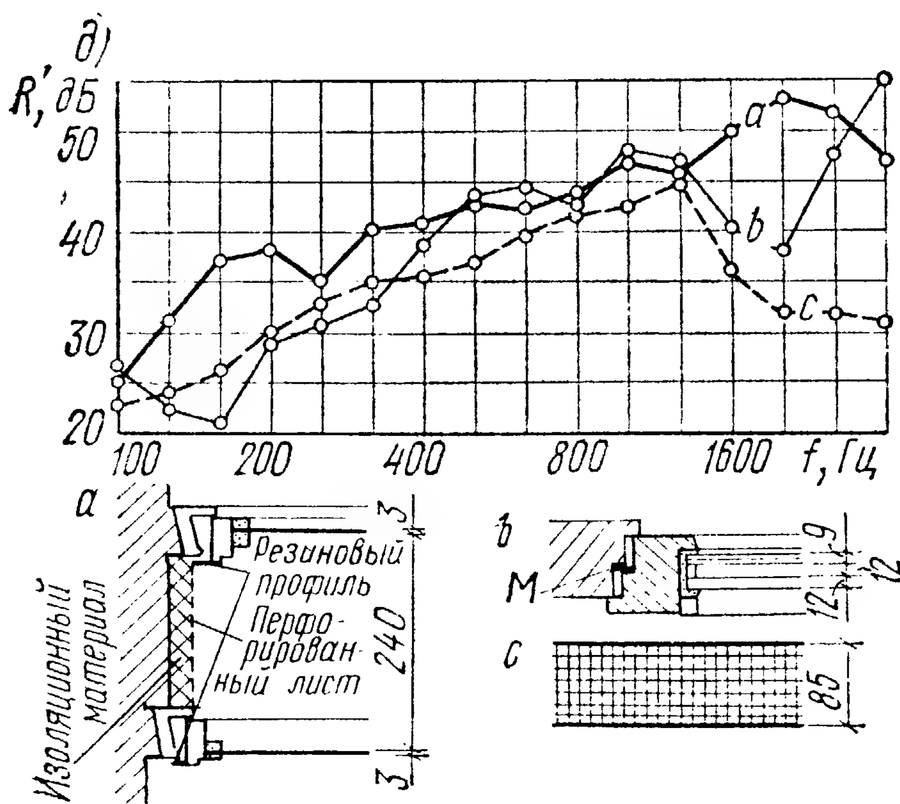
г): *a* — деревянное спаренное окно, R_w'=27 дБ; *b* — то же, с уплотнением притворов, R_w'=31 дБ

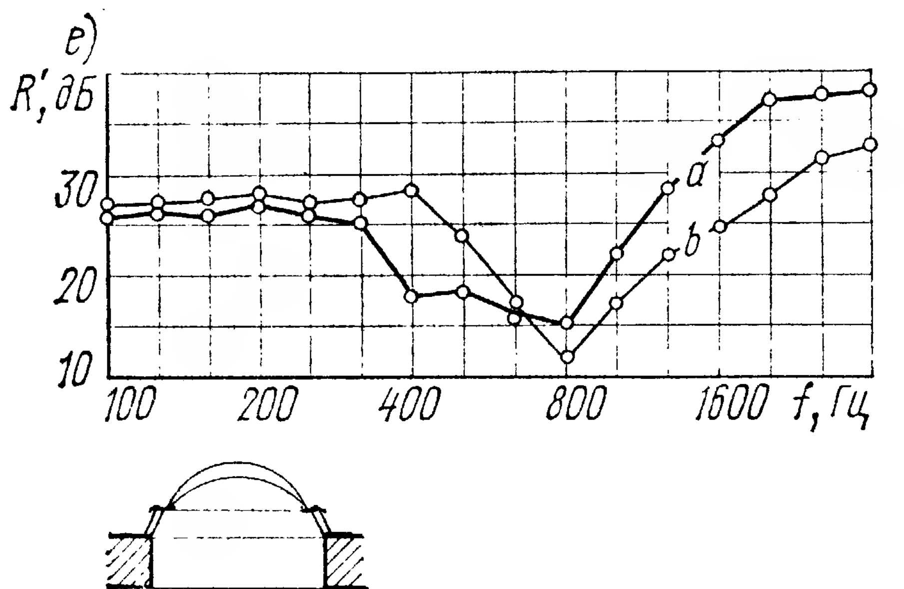






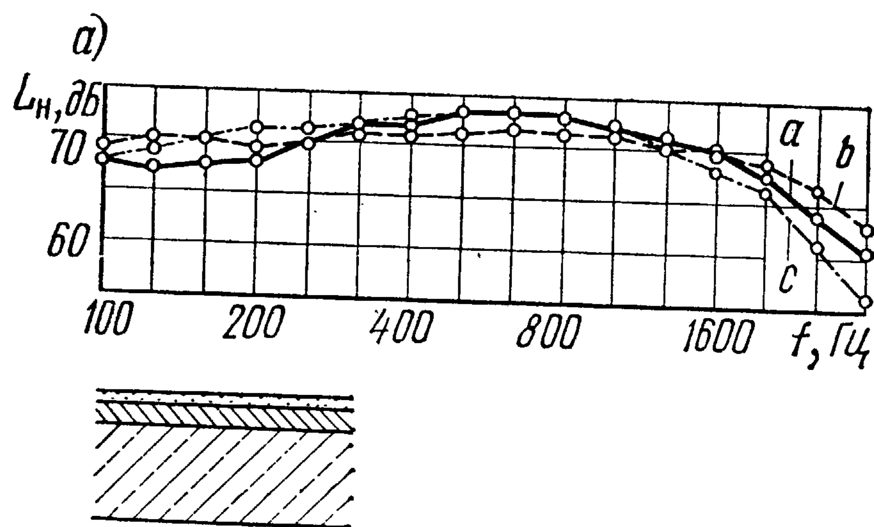


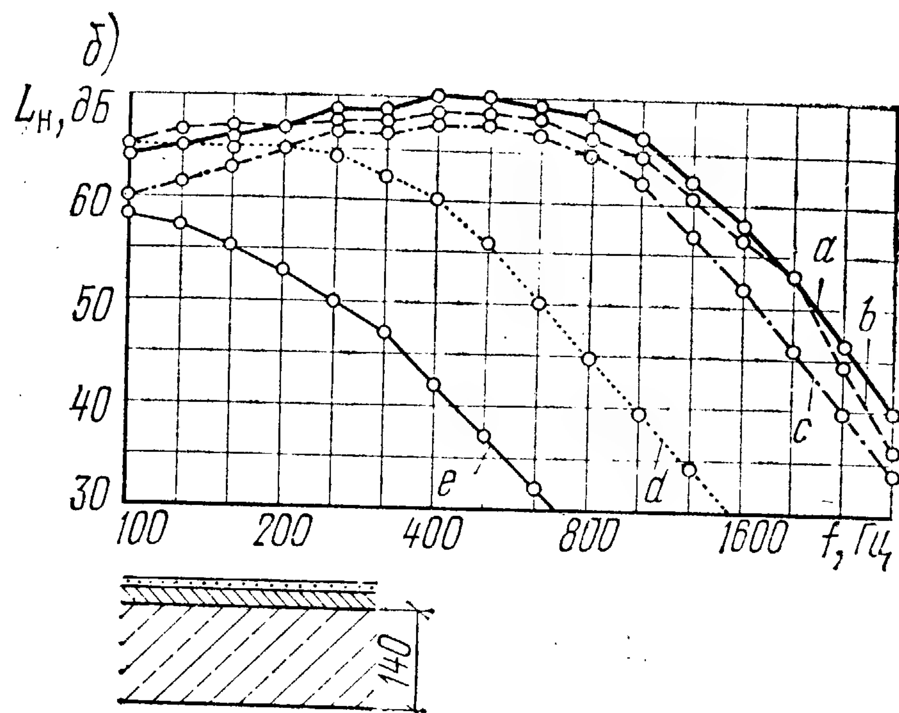


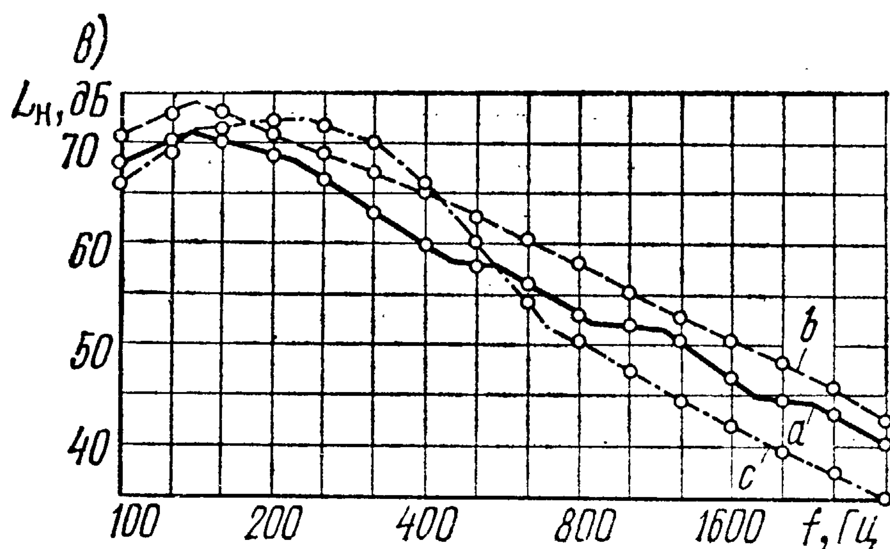


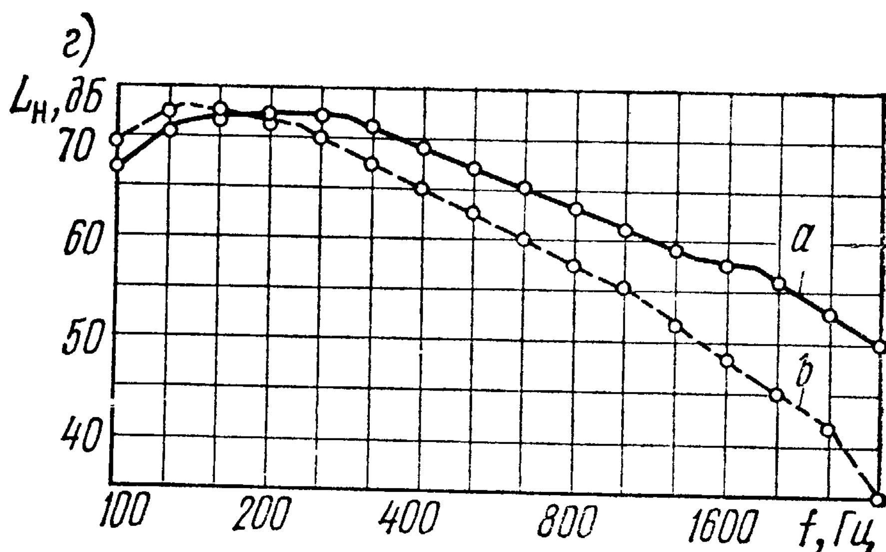
д): *a* — окно с двойным стальным переплетом, $R_w'=44$ дБ; *Р* — резиновый профиль; П — перфорированная сталь; И — изоляционный материал; *b* — деревянное окно со звукоизоляционным остеклением (стекло 3×3 мм, 12 мм воздух, 12 мм стекло), $R_w'=41$ дБ, М — манжетное уплотнение; *c* — строительный стеклоблок толщиной 85 мм, М=70 кг (1 м²), $R_w'=36$ дБ

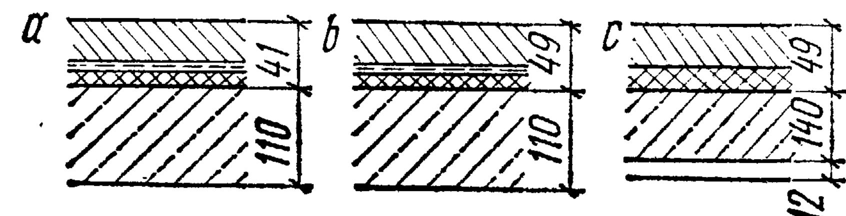
е): *a* — световой купол из акрилового стекла с одним световым проемом диаметром 700 мм с двойным остеклением, расстояние между стеклами от 0 (по краям) до 60 мм (в середине купола), $R_w'=23$ дБ; *b* — то же, одинарное остекление, $R_w'=22$ дБ











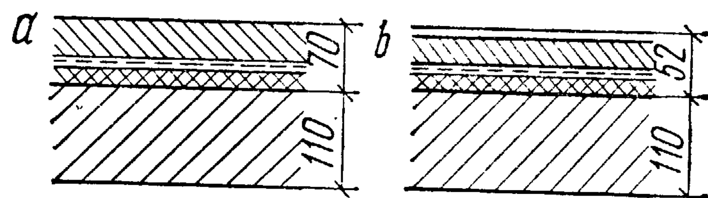


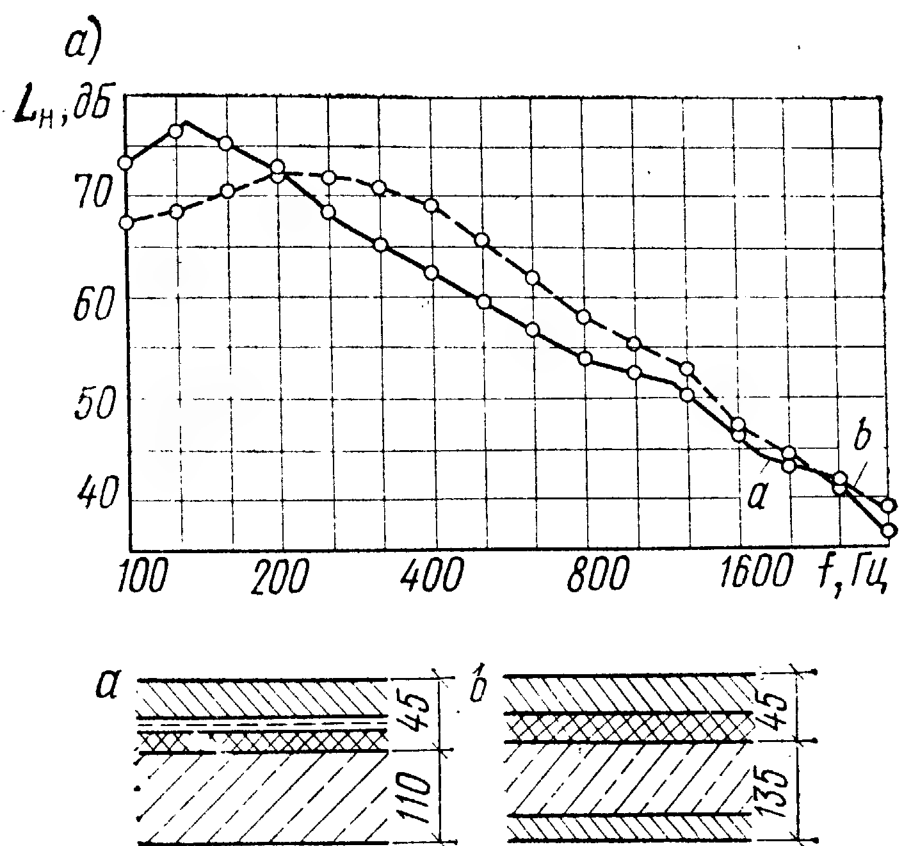
Рис. 192. Звукоизоляция конструкций перекрытий по железобетонным плитам [3]

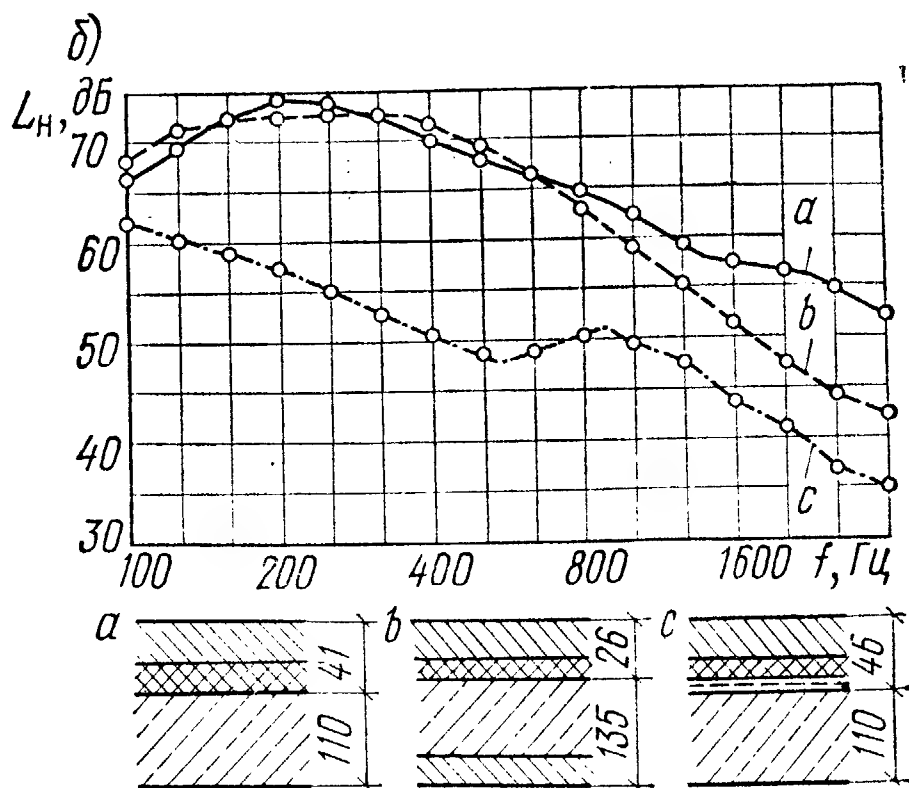
а): *а* — линолеум, 2 мм; выравнивающий слой, 20 мм; железобетон, 140 мм; М=335 кг (1 м^2), $R_w \approx 52$ дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет −6 дБ; *b* — поливинилхлоридное покрытие, 1,8 мм; выравнивающий слой, 20 мм; железобетон, 160 мм; М=385 кг (1 м^2), $R_w \approx 54$ дБ, показатель звукоизоляции от ударного шума составляет −6 дБ; *с* — паркет на клею, 8 мм, выравнивающий слой, 20 мм, железобетон, 180 мм; М=450 кг (1 м^2), $R_w \approx 56$ дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет −5 дБ

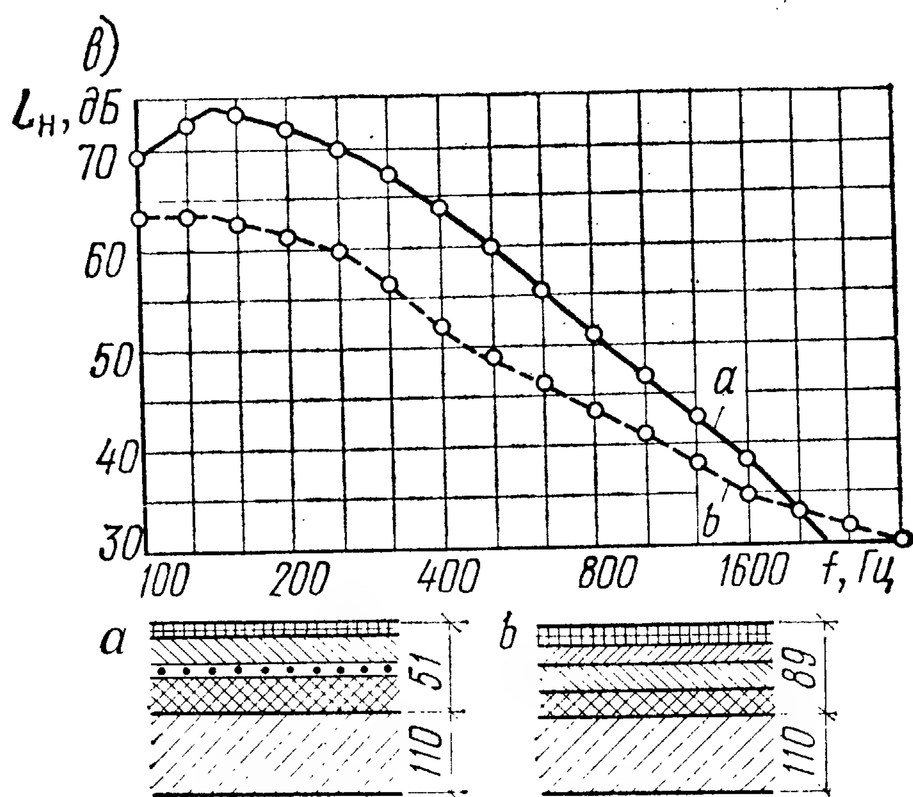
б): покрытие типа *а—е*, выравнивающий слой, 20 мм; железобетон, 140 мм, М=350 кг (1 м^2), $R_w \approx 52$ дБ; показатель звукоизоляции от ударного шума: *а* — поливинилхлоридно-пробковое покрытие (3 мм) — +2 дБ; *b* — поливинилхлоридно-войлочное покрытие (3 мм) — +3 дБ; *с* — поливинилхлоридно-пенопластовое покрытие (3 мм) — +5 дБ; *d* — найлоновое покрытие, натянутое поверх свободно лежащей войлочной подкладки (5 мм) — +10 дБ; *е* — то же (5 мм), поверх рифленого войлочного основания толщиной 6 мм — +22 дБ

в): *а* — стяжка из «фебапорита», 38 мм, битуминизованная бумага, мат из стекловолокна, 3 мм, железобетон, 110 мм; М=360 кг (1 м^2), $R_w \approx 52$ дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет +7 дБ; *b* — цементная стяжка, 45 мм; промасленная бумага, плита из шлаковаты, 4 мм; железобетон — 110 мм; М=365 кг (1 м^2), $R_w \approx 52$ дБ, показатель звукоизоляции от ударного шума составляет +5 дБ; *с* — цементная стяжка, 43 мм; мат из пробковой крошки, 6 мм; штукатурка, 12 мм; М=437 кг (1 м^2), $R_w \approx 55$ дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет +5 дБ

г): *а* — цементная стяжка, 45 мм; промасленная бумага, легкая древесноволокнистая плита, 25 мм; железобетон, 110 мм; М=360 кг (1 м^2), $R_w \approx 52$ дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет +1 дБ; *b* — линолеум, 2 мм; цементная стяжка; 30 мм, промасленная бумага, легкая древесноволокнистая плита, 20 мм; железобетон, 110 мм; М=345 кг (1 м^2), $R_w \approx 52$ дБ, показатель звукоизоляции от ударного шума составляет +5 дБ







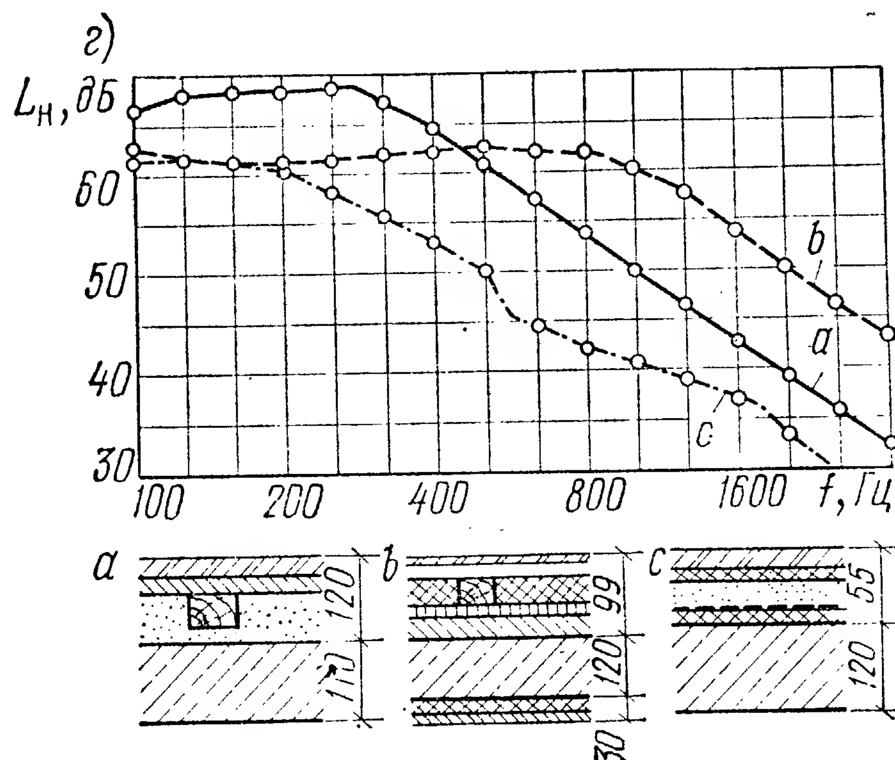


Рис. 193. Звукоизоляция конструкций перекрытий по железобетонным плитам [3]

а): *a* — стяжка из «фебапорита», 39 мм; битуминизированная бумага, пенополи- стирол, 6 мм; железобетонная плита, 110 мм; М=363 кг (1 м²), R_w≈52 дБ, показатель звукоизоляции от ударного шума составляет +2 дБ; *b* — цементная стяжка, 35 мм, пенополистирол, 10 мм; железобетон, 120 мм; штукатурка, 15 мм; М=390 кг (1 м²), R_w≈55 дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет +3 дБ

б): *a* — асфальтовая стяжка, 28 мм; битуминизированная древесноволокнистая пли- та, 13 мм; железобетон 110 мм; М=311 кг (1 м²), R_w≈52 дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет +1 дБ; *b* — бесшовный асфальтовый пол, 20 мм; пробко- войлочный битуминизированный мат, 6 мм; железобетон, 120 мм; штукатурка, 15 мм; М=364 кг (1 м²), R_w≈52 дБ Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет +1 дБ; *c* — асфальтовая стяжка, 31 мм; битуминизированная древесно-волокнистая пли- та, 13 мм; плита из стекловолокна, 2 мм; железобетон 110 мм; М=312 кг (1 м²) R_w≈52 дБ, показатель звукоизоляции от ударного шума составляет +16 дБ

в): *a* — резиновое покрытие, 4 мм; цементная стяжка, 23 мм; полиэтиленовая плен- ка, вермикулитовая засыпка, 24 мм; железобетон, 110 мм; М=332 кг (1 м²), R_w≈53 дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет +4 дБ; *b* — резиновое покры- тие, 4 мм; цементная стяжка, 30 мм, легкобетонная плита, 50 мм; стекловойлок, 5 мм; железобетон 110 мм; М=328 кг (1 м²), R_w=52 дБ. Показатель звукоизоляции от удар- ного шума составляет +14 дБ

г): *a* — пол по деревянным лагам, 25 мм; черный пол, 25 мм, шлаковая засыпка, 70 мм; железобетон, 110 мм; М=375 кг (1 м²), R_w≈55 дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет +6 дБ; *b* — паркет, 24 мм; легкая древесноволокнистая плита, 35 мм; тростник, 3 мм; выравнивающая стяжка, 37 мм; железобетон 120 мм; легкая древесноволокнистая плита, 15 мм; штукатурка, 15 мм; М=430 кг (1 м²), R_w≈ ≈57 дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет +8 дБ, *c* — паркет, 20 мм; мягкая древесноволокнистая плита 10 мм; песчаная засыпка, 20 мм; бумага, стекловолокнистая плита, 5 мм, железобетон, 120 мм; М=345 кг (1 м²), R_w≈55 дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет +16 дБ

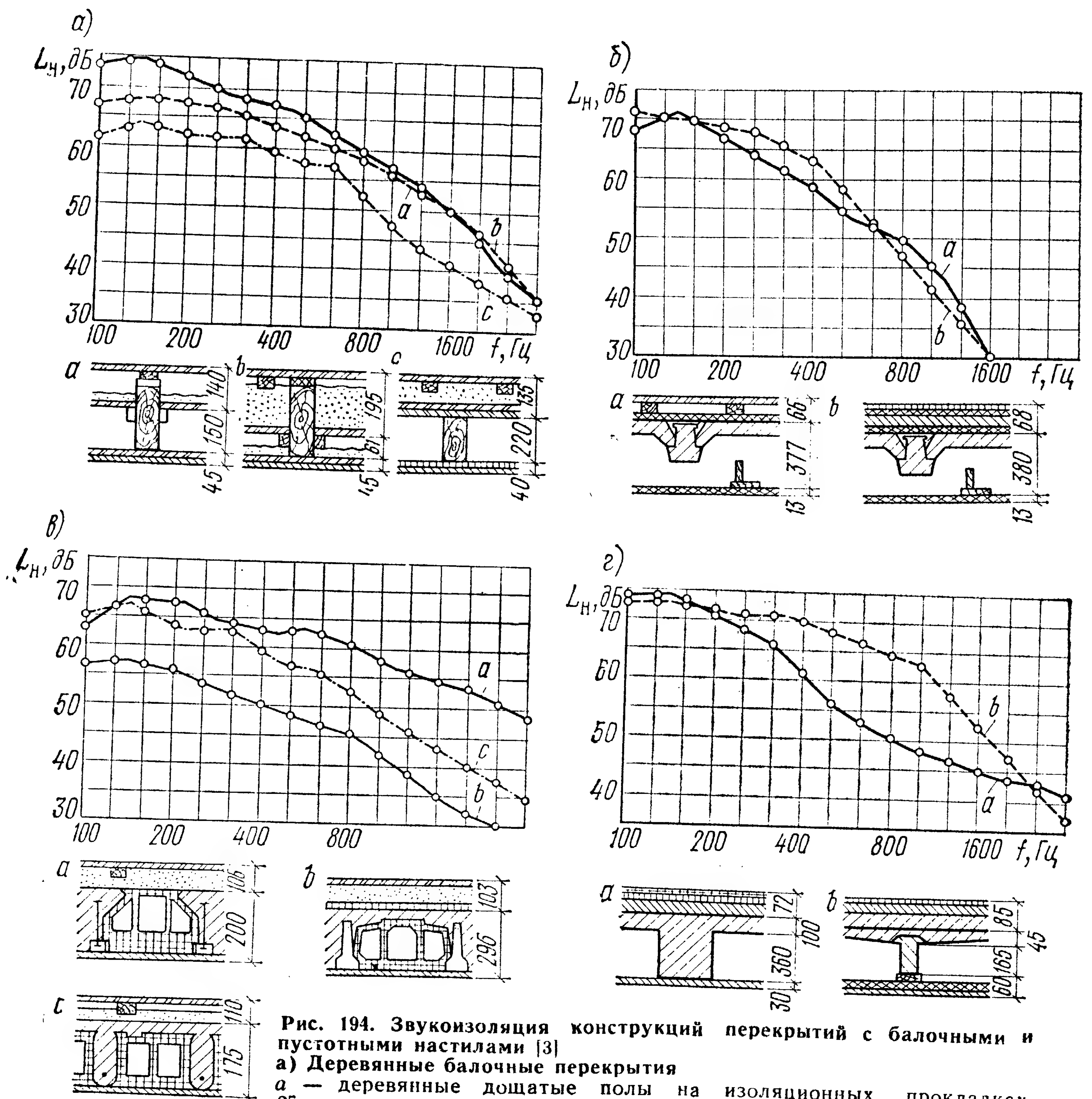


Рис. 194. Звукоизоляция конструкций перекрытий с балочными и пустотными настилами [3]

а) Деревянные балочные перекрытия

a — деревянные дощатые полы на изоляционных прокладках 25 мм, шлаковая засыпка 20 мм; накат черного пола, 25 мм; штукатурка 20 мм; М=120 кг (1 м²), $R_w \approx 52$ дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет +2 дБ; *b* — деревянные доски на лагах и изоляционных прокладках, 25 мм; шлаковая засыпка, 100 мм; накат черного пола, 25 мм; глиняная стяжка, 30 мм; дощатая обшивка, 25 мм; штукатурка, 20 мм; М=225 кг (1 м²), $R_w \approx 56$ дБ, показатель звукоизоляции от ударного шума составляет +6 дБ; *c* — деревянные доски, на мягких деревянных прокладках, 25 мм; шлаковая засыпка, 70 мм; обрешетка, 40 мм, сухая штукатурка, 15 мм, сухая штукатурка 25 мм; М=175 кг (1 м²), $R_w \approx 57$ дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет +11 дБ

б) Железобетонные ребристые перекрытия («Katzenberger»)

a — деревянные доски на мягких деревянных прокладках, 23 мм, изоляционные древесноволокнистые плиты, 13 мм; железобетонное перекрытие «Katzenberger»; изоляционная древесноволокнистая плита, 13 мм; М=240 кг (1 м²), $R_w = 53$ дБ, показатель звукоизоляции от ударного шума составляет +9 дБ; *b* — твердая древесноволокнистая плита, 5 мм; изоляционная древесноволокнистая плита, 10 мм; цементная стяжка, 40 мм; изоляционная древесноволокнистая плита, 13 мм; перекрытие «Katzenberger»; изоляционная древесноволокнистая плита, 13 мм; М=310 кг (1 м²), $R_w = 55$ дБ, показатель звукоизоляции от ударного шума составляет +6 дБ

в) Железобетонные перекрытия с пустотными настилами

a — пол из узких деревянных планок на деревянных прокладках 26 мм; шлаковая засыпка, 80 мм; элемент пустотного настила, 180 мм; штукатурка, 20 мм; М=280 кг (1 м²), $R_w = 54$ дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет +6 дБ; *b* — деревянные дощатые полы, 25 мм; засыпка из кирпичного боя, 65 мм; изоляционные древесноволокнистые плиты, 13 мм; «Rella» перекрытие в виде пустотного настила; штукатурка, 10 мм; М=416 кг (1 м²), $R_w = 57$ дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет +19 дБ; *c* — деревянные дощатые полы на лагах, 25 мм; маты из минеральной шерсти, 35 мм; армокаменное перекрытие; штукатурка 15 мм; М=281 кг (1 м²), $R_w = 58$ дБ, показатель звукоизоляции от ударного шума составляет +10 дБ

г) Монолитные или сборные железобетонные ребристые перекрытия

а — пробковый паркет 8 мм; прессованная пробка, 4 мм; легкобетонная стяжка, 60 мм, железобетонное ребристое перекрытие; штукатурка, 30 мм, М=620 кг (1 м²), $R_w \approx$ ≈60 дБ, показатель звукоизоляции от ударного шума составляет +5 дБ; *b* — пробковый линолеум, 5 мм; эластичная стяжка, 20 мм; бетон, 60 мм; сборное железобетонное покрытие «Singerduke», деревянные рейки, 25 мм, легкие древесноволокнистые плиты, 25 мм; штукатурка, 10 мм; М=424 кг (1 м²), R_w=55 дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет +2 дБ

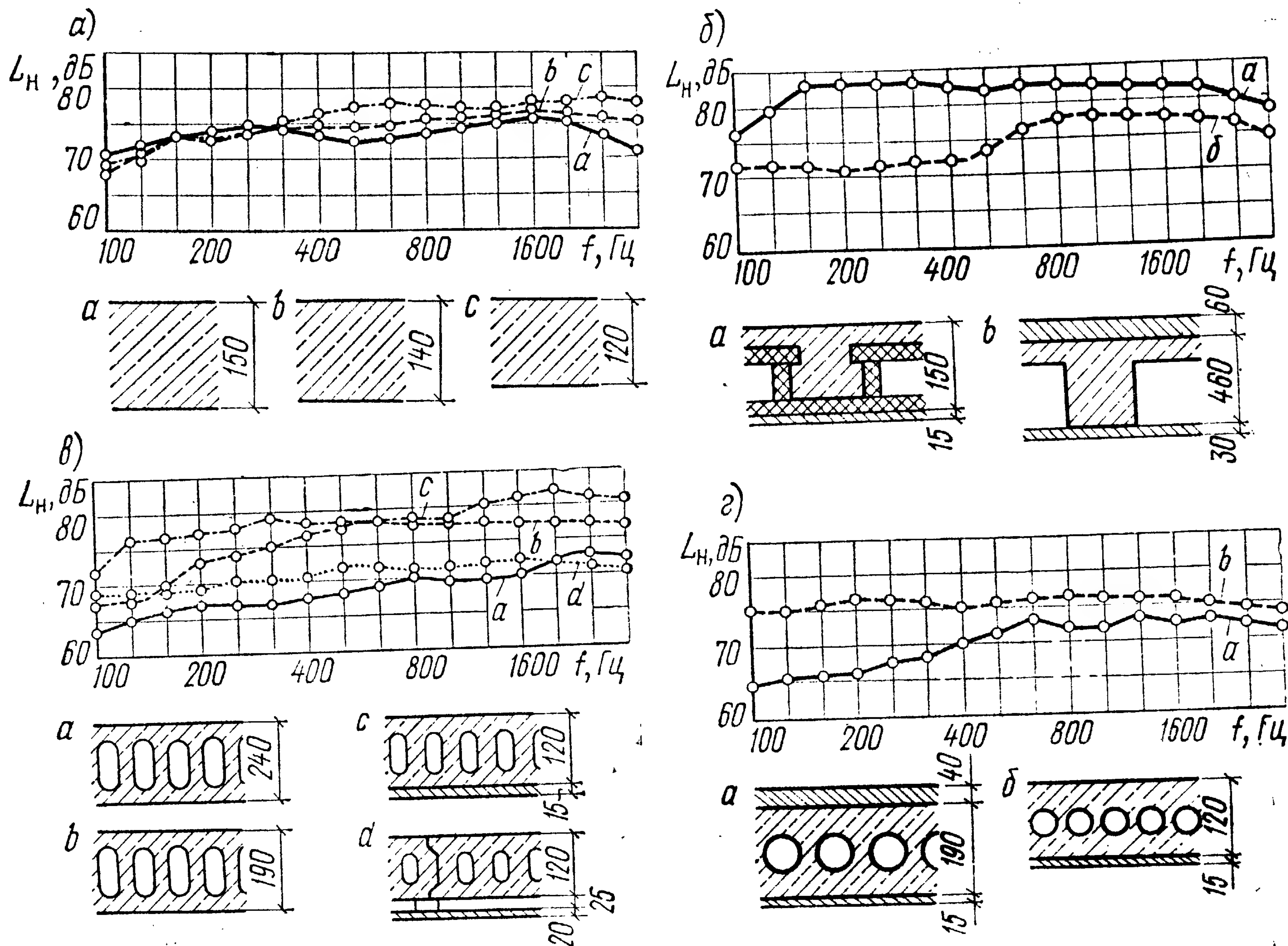


Рис. 195. Звукоизоляция несущей части перекрытия (10); п. *в* — по [14], п. *г* — по [3]

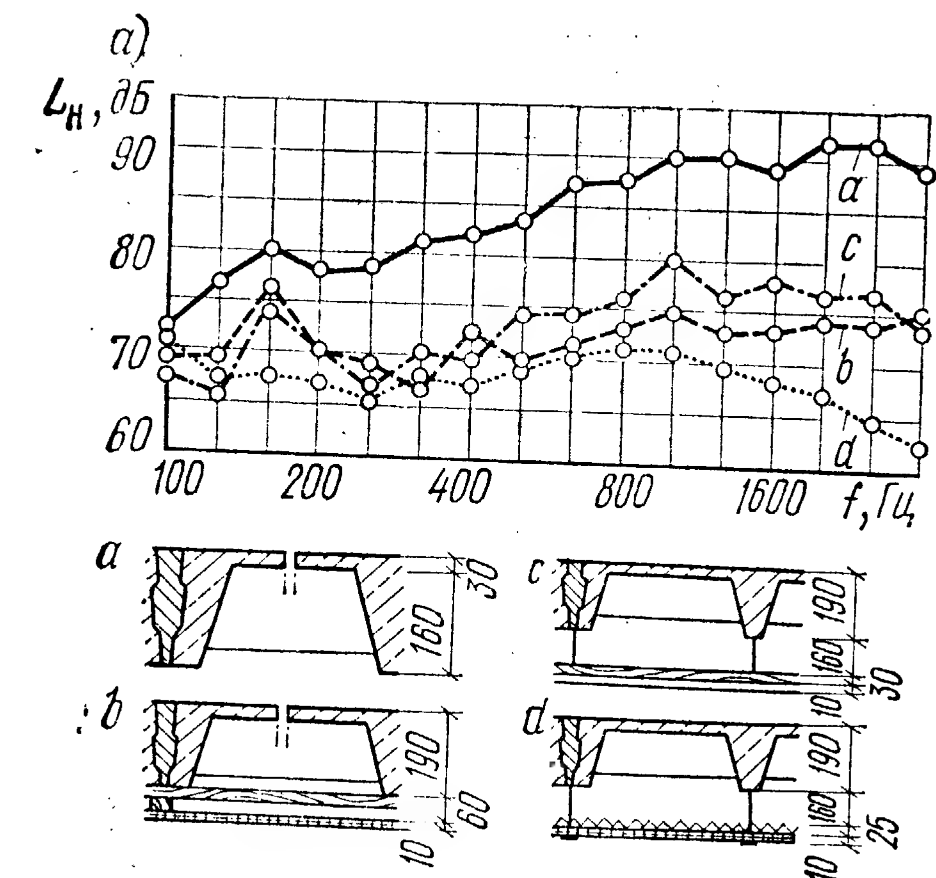
а): *а* — железобетонные плиты перекрытий, 150 мм; М=360 кг (1 м²), R_w=53 дБ, показатель звукоизоляции от ударного шума составляет —11 дБ, эквивалентное значение равно —12 дБ; *b* — железобетонные плиты перекрытий, 140 мм; М=330 кг (1 м²), R_w=51 дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет —12 дБ, эквивалентное значение равно —13 дБ; *с* — железобетонные плиты перекрытий, 120 мм; М=280 кг (1 м²), R_w=48 дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет —14 дБ, эквивалентное значение равно —14 дБ.

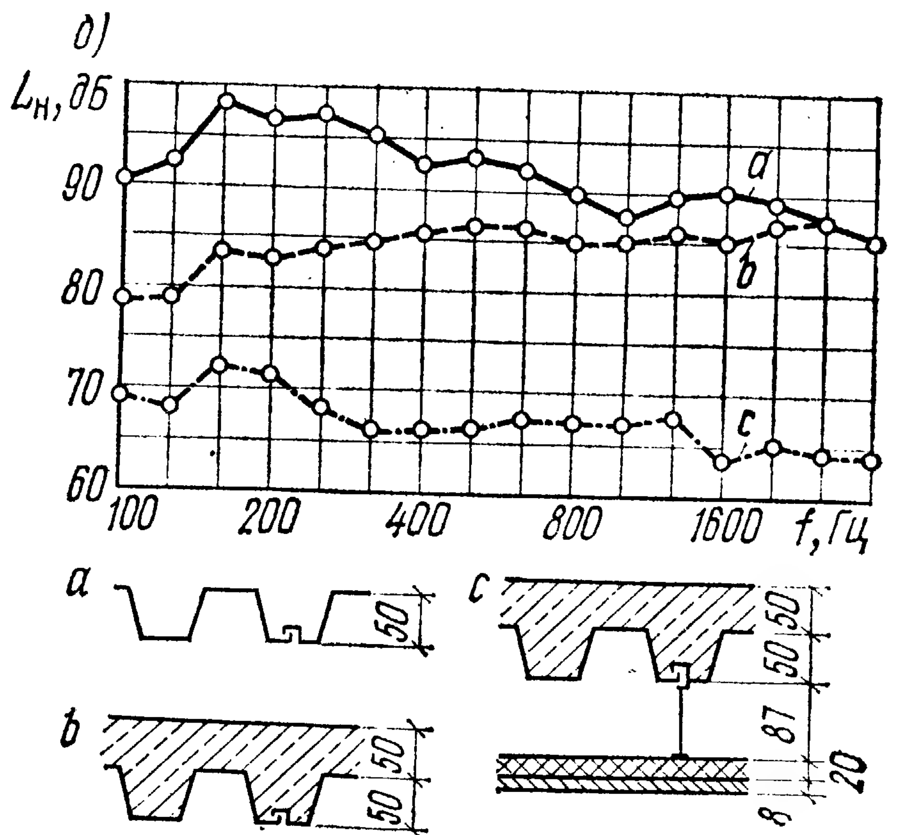
Благодаря оштукатуриванию перекрытия раствора толщиной 15—20 мм, звукоизоляция перекрытия от ударного шума улучшается примерно на 3 дБ

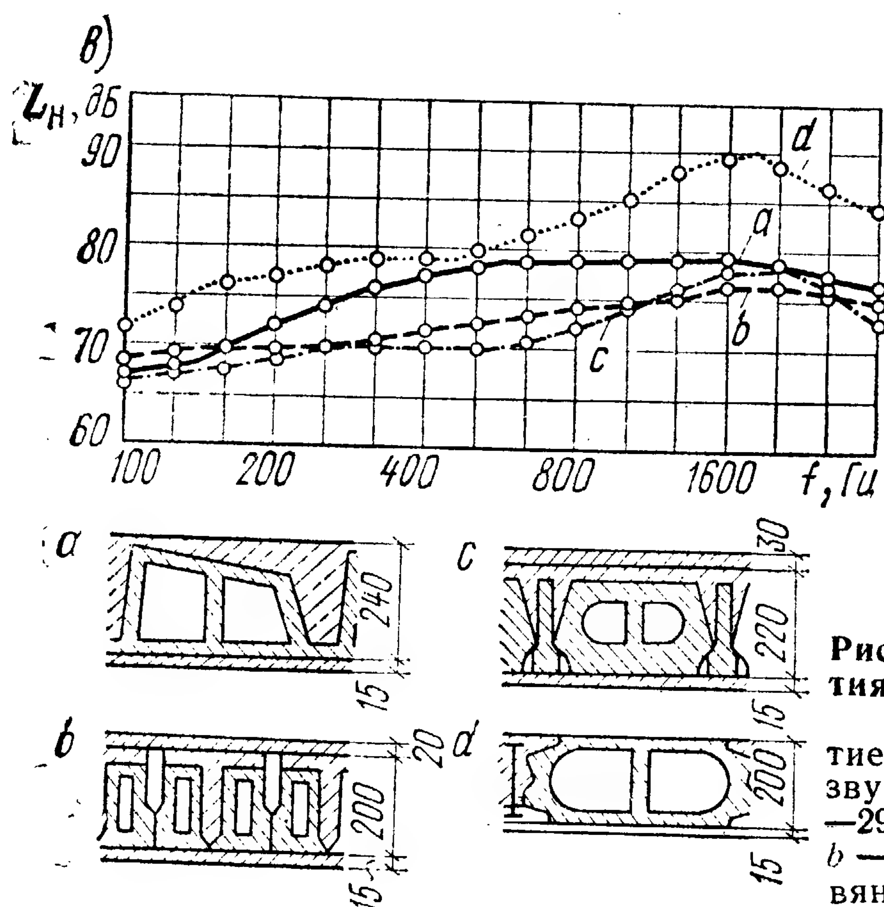
б): *а* — железобетонные ребристые перекрытия с пустотами, образованными легкими древесноволокнистыми плитами, оштукатуренными снизу, М=250 кг (1 м²), R_w=44 дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет —18 дБ, эквивалентное значение равно —16 дБ; *b* — легкобетонная стяжка, железобетонные ребристые перекрытия, штукатурка, М=613 кг (1 м²), R_w>52 дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет —13 дБ, эквивалентное значение равно —13 дБ

в): *а* — железобетонные перекрытия с вертикально расположенными пустотами, М=385 кг (1 м²), R_w=54 дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет —8 дБ, эквивалентное значение равно —8 дБ; *b* — железобетонное перекрытие с вертикальными пустотами, М=320 кг (1 м²), R_w=50 дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет —13 дБ, эквивалентное значение равно —12 дБ; *с* — железобетонное перекрытие с вертикальными пустотами, штукатурка, М=180 кг (1 м²), R_w=48 дБ, показатель звукоизоляции от ударного шума составляет —18 дБ, эквивалентное значение равно —10 дБ; *d* — железобетонное перекрытие с вертикальными пустотами, обрешетка, штукатурка по тростниковому мату, М=200 кг (1 м²), R_w=53 дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет —9 дБ, эквивалентное значение равно —10 дБ.

г): *а* — выравнивающая стяжка, железобетонное перекрытие с круглыми пустотами, штукатурка, М=380 кг (1 м²), R_w=54 дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет —11 дБ, эквивалентное значение равно —10 дБ; *b* — железобетонное перекрытие с круглыми пустотами, штукатурка, М=190 кг (1 м²), R_w=46 дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет —14 дБ, эквивалентное значение равно —14 дБ







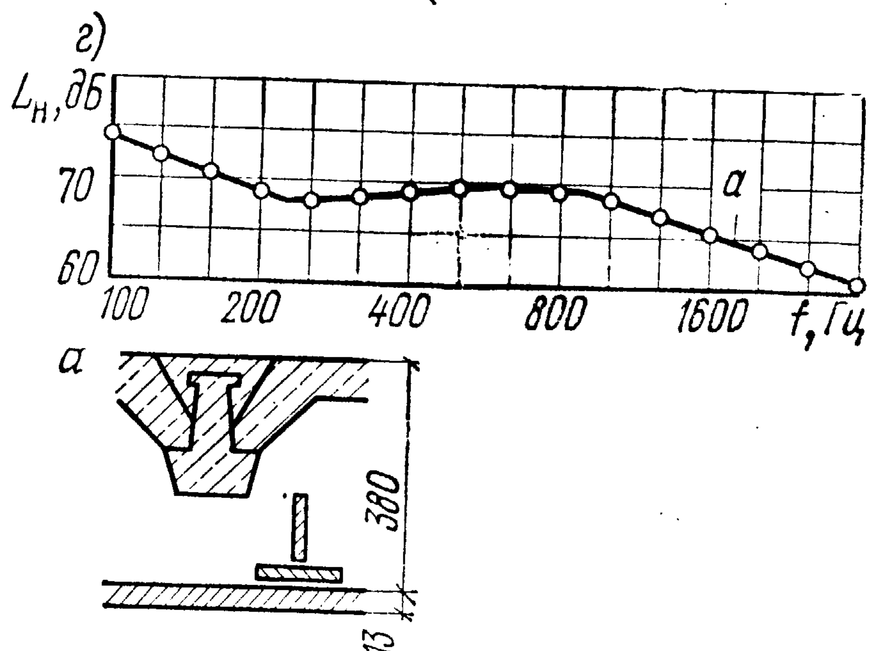


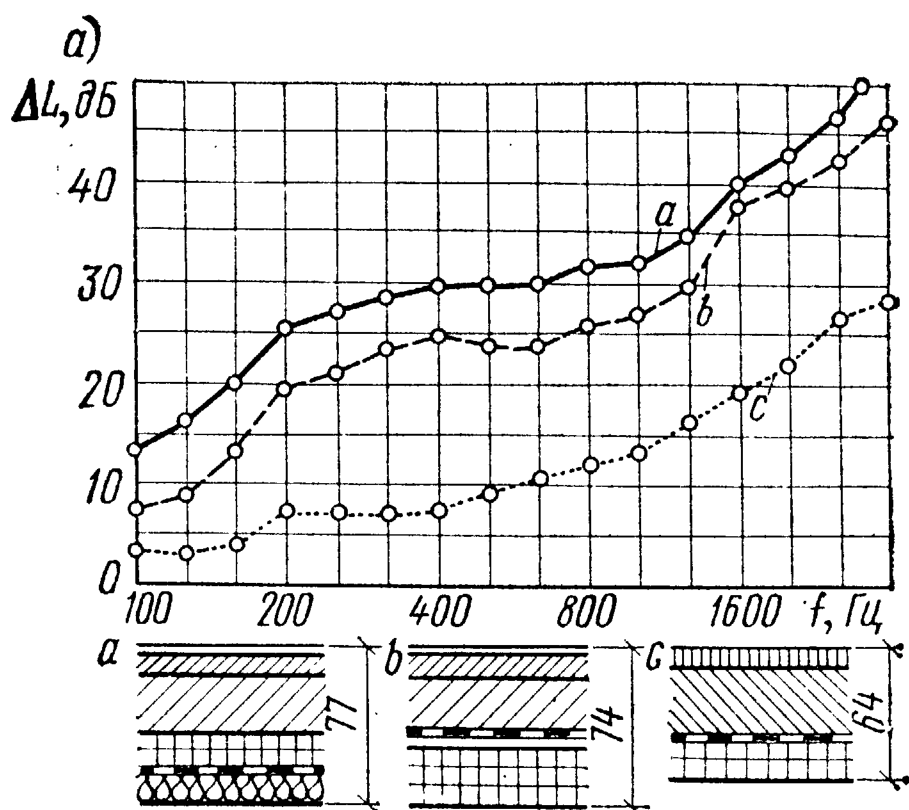
Рис. 196. Звукоизоляция несущей части перекрытия (10); п. б): а — по [14], п. в — по [3]

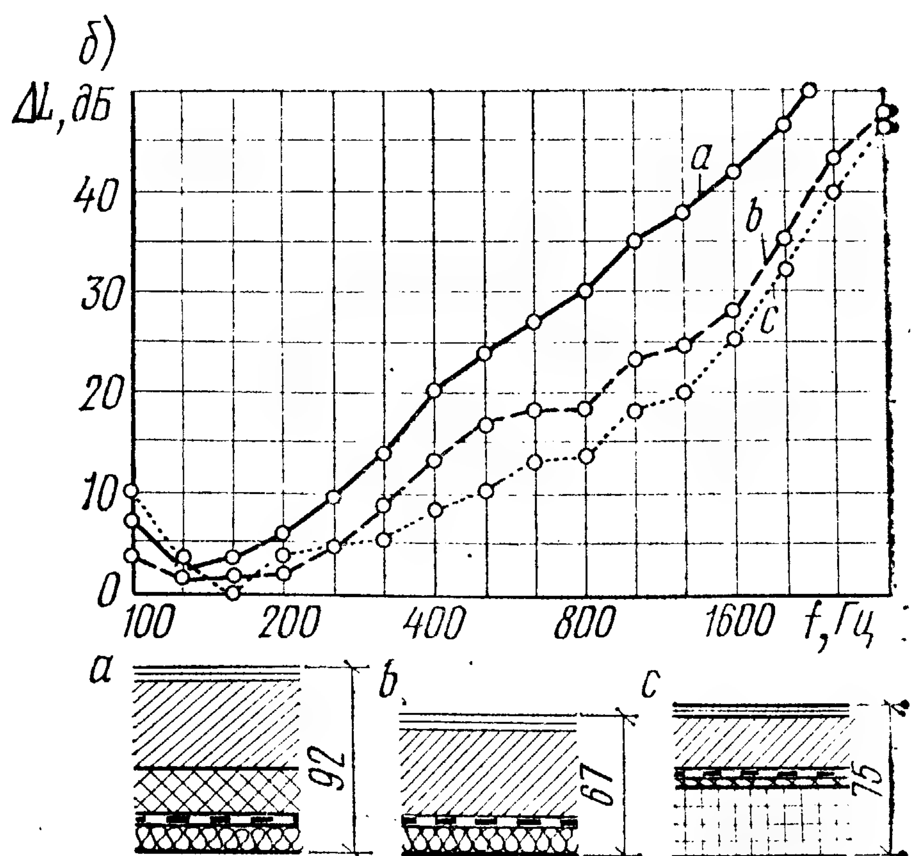
а): а — железобетонное кессонное перекрытие, M=160 кг (1 м²), R_w=41 дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет —29 дБ, эквивалентное значение равно —21 дБ; b — железобетонное кессонное перекрытие, деревянная обрешетка 30/50, гипсокартонная плита, M=175 кг (1 м²), $R_w \approx 54$ дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет —10 дБ, эквивалентное значение равно —12 дБ; c — железобетонное кессонное перекрытие, деревянная обрешетка, гипсокартонная плита, M=175 кг (1 м²), $R_w \approx 54$ дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет —14 дБ, эквивалентное значение равно —10 дБ; d — железобетонное кессонное перекрытие, мат из минерального войлока, гипсокартонная плита, M=180 кг (1 м²), $R_w \approx 56$ дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет —5 дБ, эквивалентное значение равно —9 дБ.

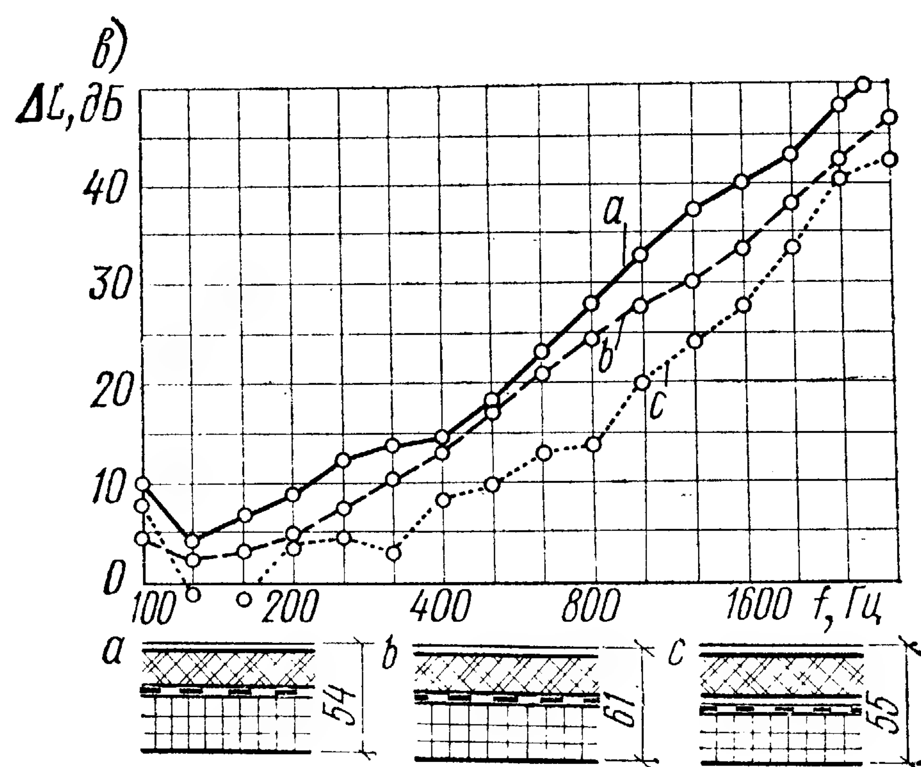
б): а — стальное складчатое перекрытие, M=20 кг (1 м²), R_w=23 дБ, показатель звукоизоляции от ударного шума составляет —25 дБ, эквивалентное значение равно —37 дБ; b — железобетонное перекрытие в стальной складчатой опалубке, M=165 кг (1 м²), R_w=39 дБ, показатель звукоизоляции от ударного шума составляет —23 дБ, эквивалентное значение равно —23 дБ; c — железобетонное перекрытие в стальной складчатой опалубке, мат из стекловолокна, асбестоцементная плита, M=185 кг (1 м²), R_w=57 дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет —2 дБ, эквивалентное значение равно —12 дБ

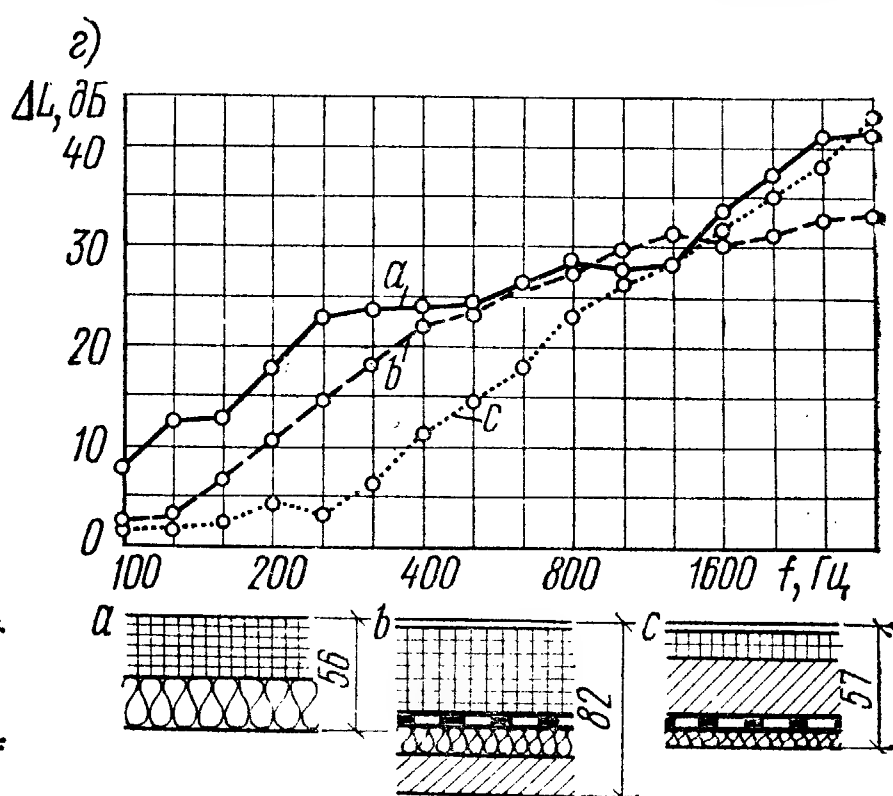
в): а — пустотное перекрытие «Wenko», штукатурка, M=300 кг (1 м²), R_w=50 дБ, показатель звукоизоляции от ударного шума —15 дБ, эквивалентное значение равно —14 дБ; b — выравнивающая стяжка, железобетонное балочное пустотное перекрытие «Meister», M=300 кг (1 м²), R_w=50 дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет —13 дБ, эквивалентное значение равно —11 дБ; c — выравнивающая стяжка, железобетонное балочное пустотное перекрытие, штукатурка, M=370 кг (1 м²), R_w=52 дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума —15 дБ, эквивалентное значение равно —10 дБ; d — пустотное перекрытие по стальным балкам, штукатурка, M=210 кг (1 м²), R_w=47 дБ. Показатель звукоизоляции от ударного шума составляет —25 дБ, эквивалентное значение равно —22 дБ

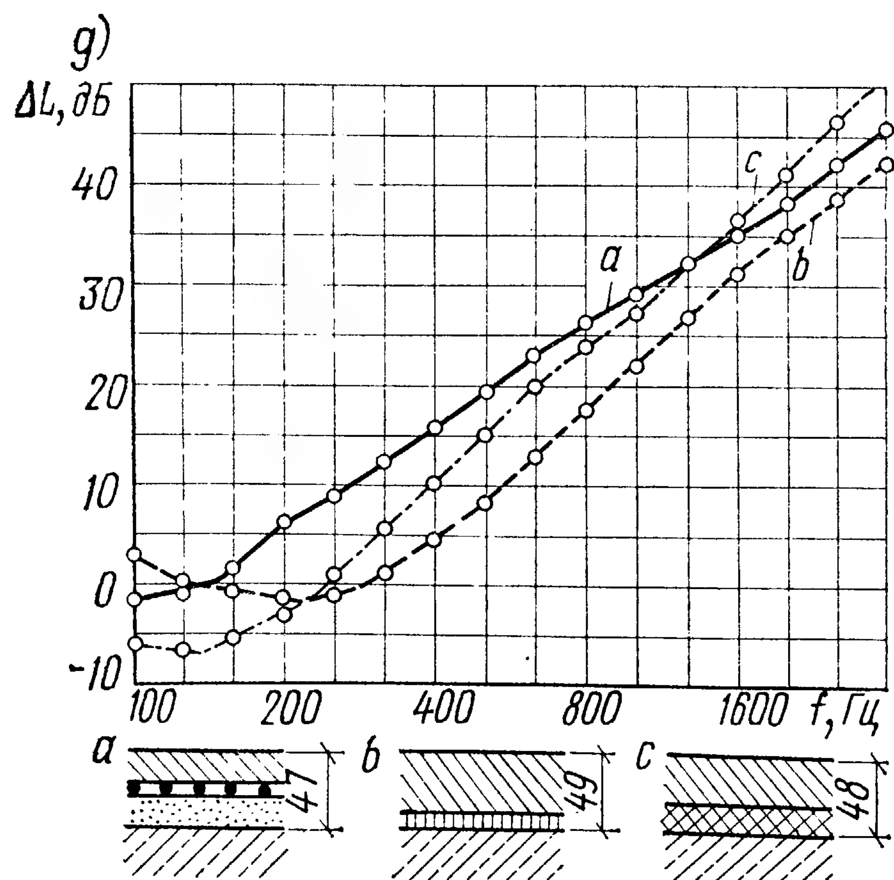
г): а — сборное железобетонное перекрытие «Katzenberger», изоляционная древесноволокнистая плита, M=220 кг (1 м²), R_w=50 дБ, показатель звукоизоляции от ударного шума составляет —3 дБ, эквивалентное значение равно —13 дБ











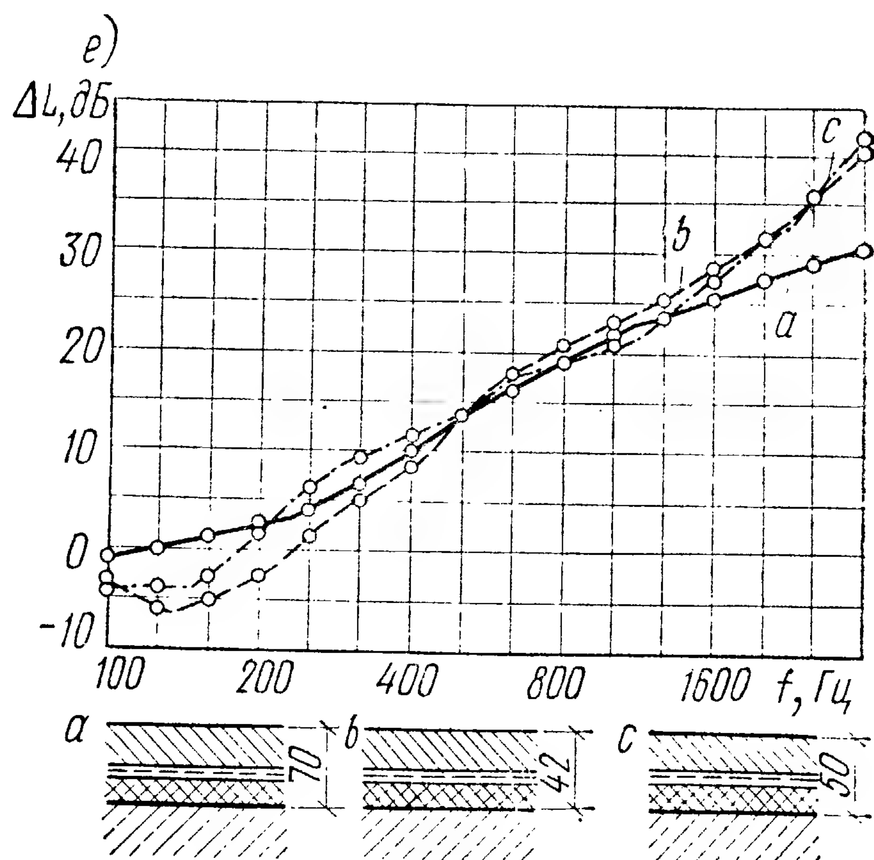
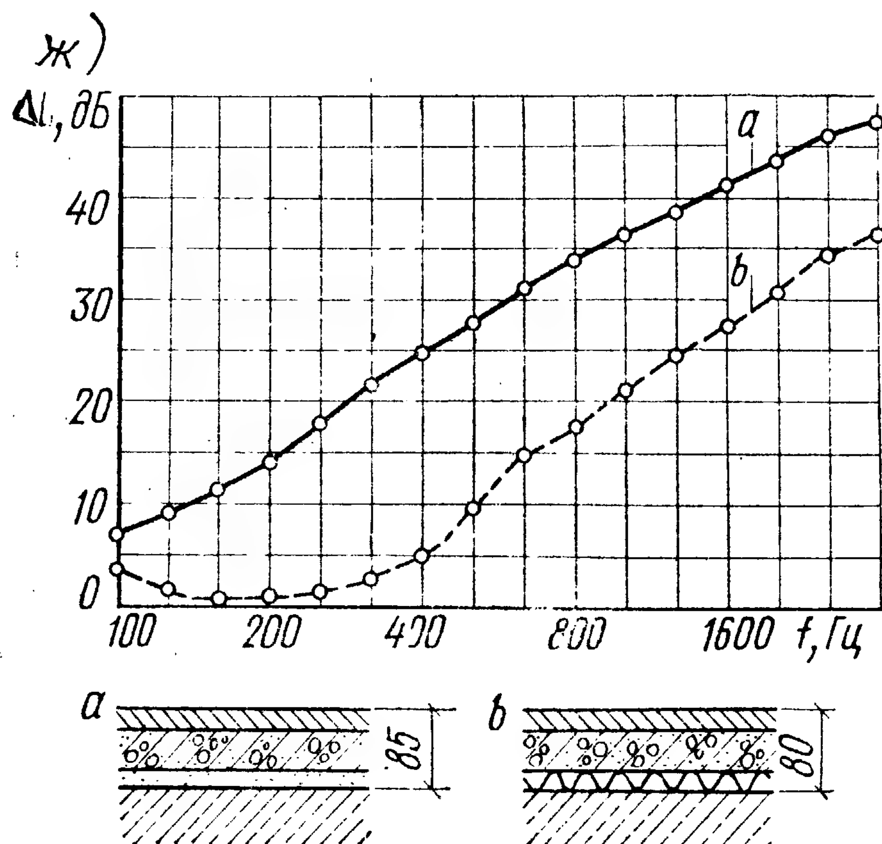
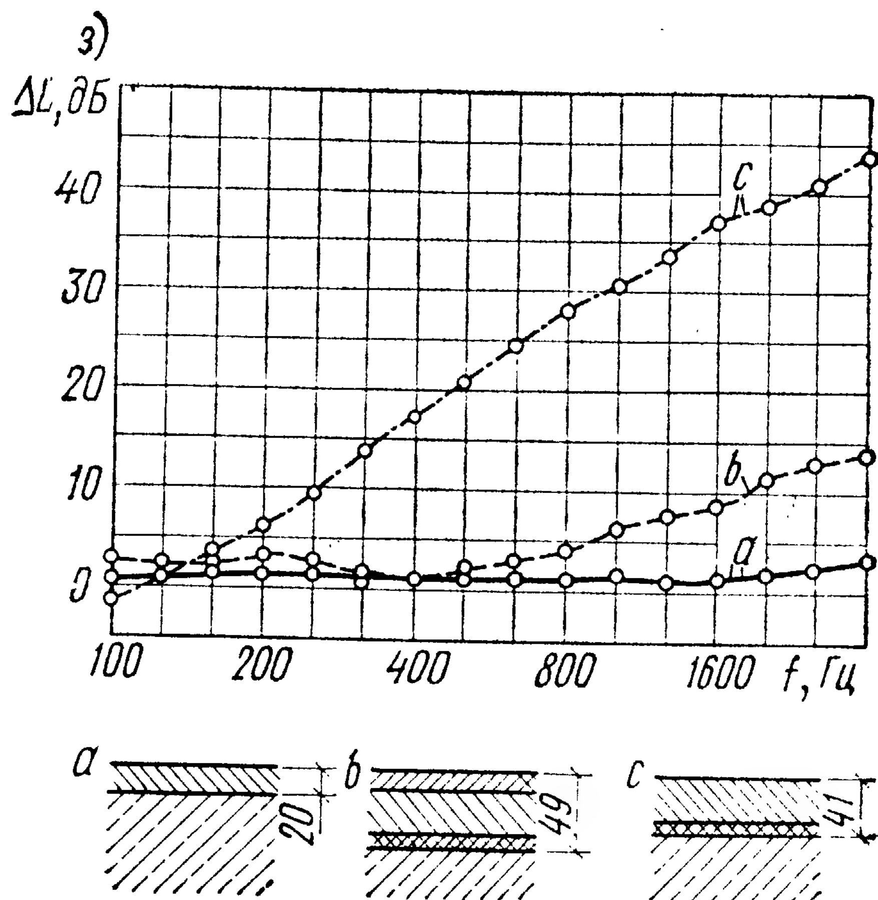
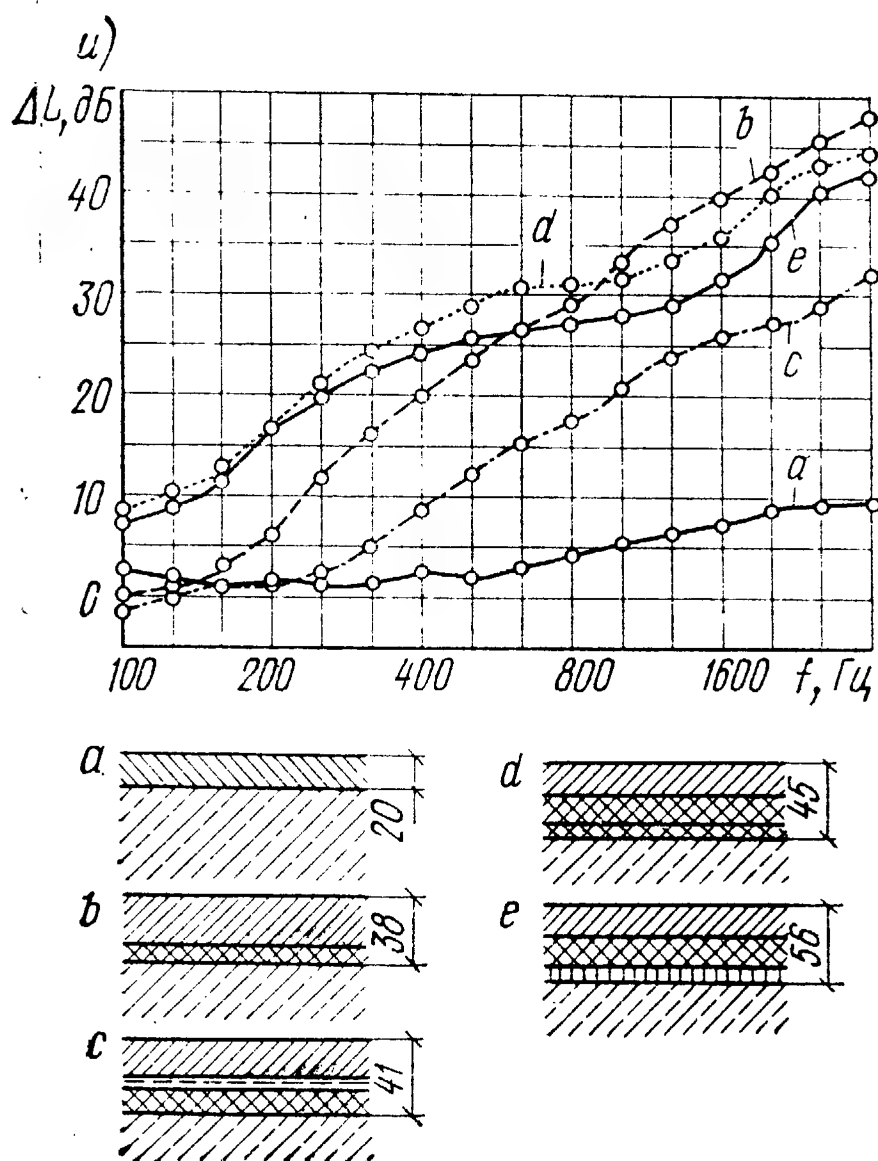


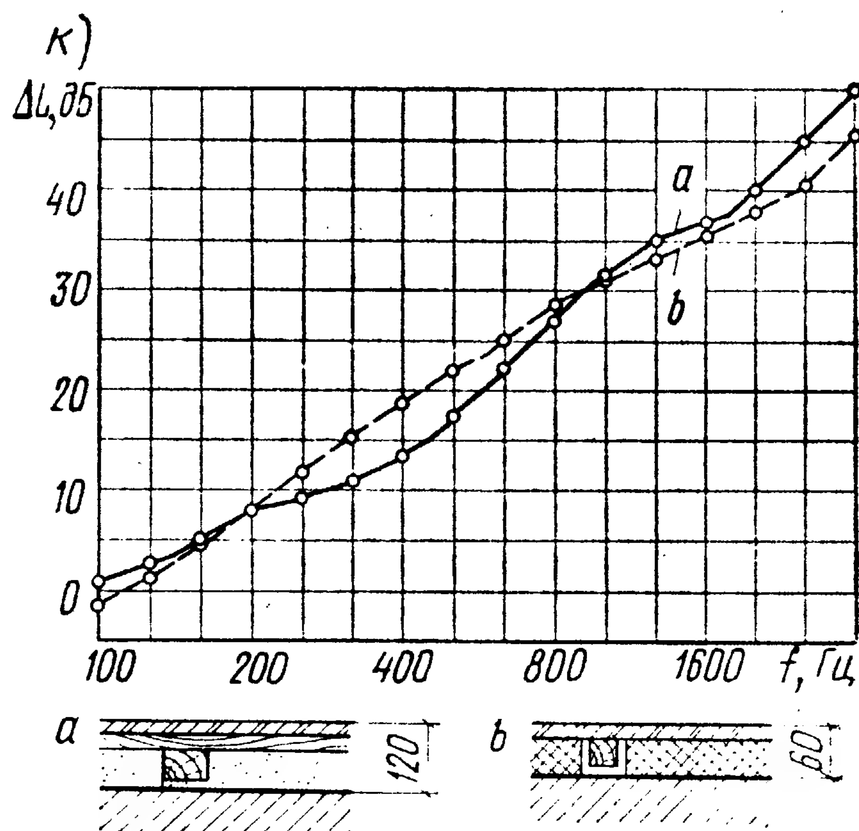
Рис. 197. Улучшение звукоизоляции перекрытий от ударного шума путем устройства покрытия пола [10]

а): *a* — покрытие из ПХВ, 1,8 мм; отделочный слой, 10 мм; изоляционная плита, 30 мм; доменный шлак, 20 мм; промасленная бумага; плита из минерального волокна, 15 мм; M = 105 кг (1 $м^2$), улучшение звукоизоляции составляет 35 дБ; *b* — покрытие из





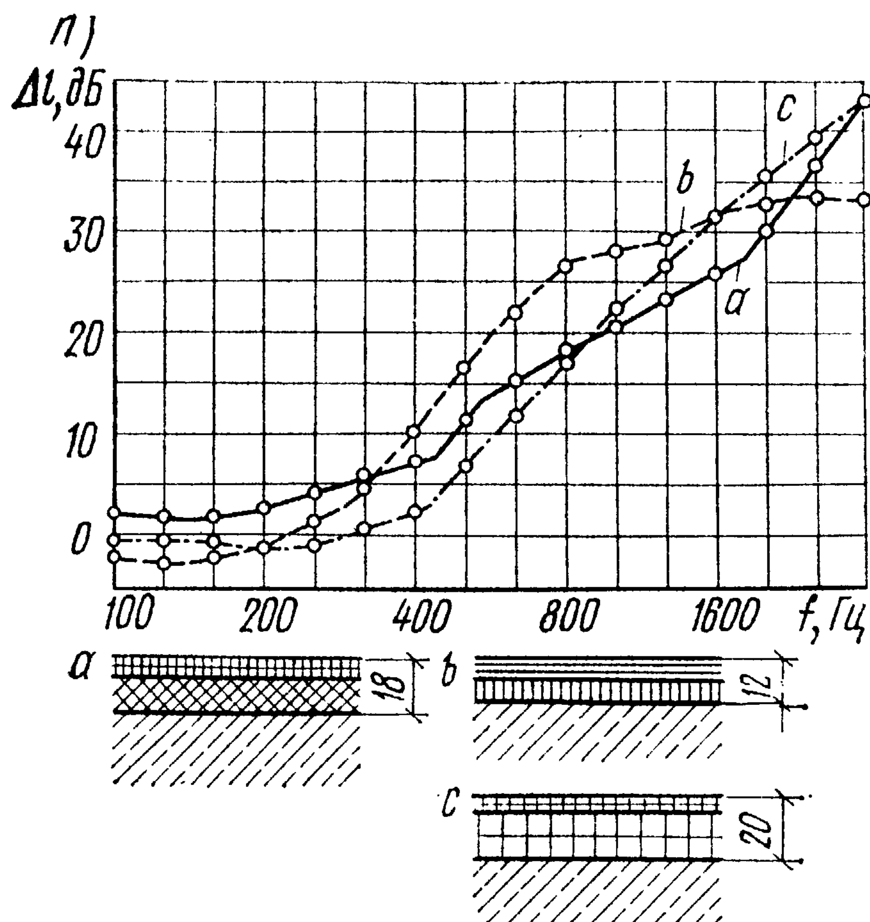


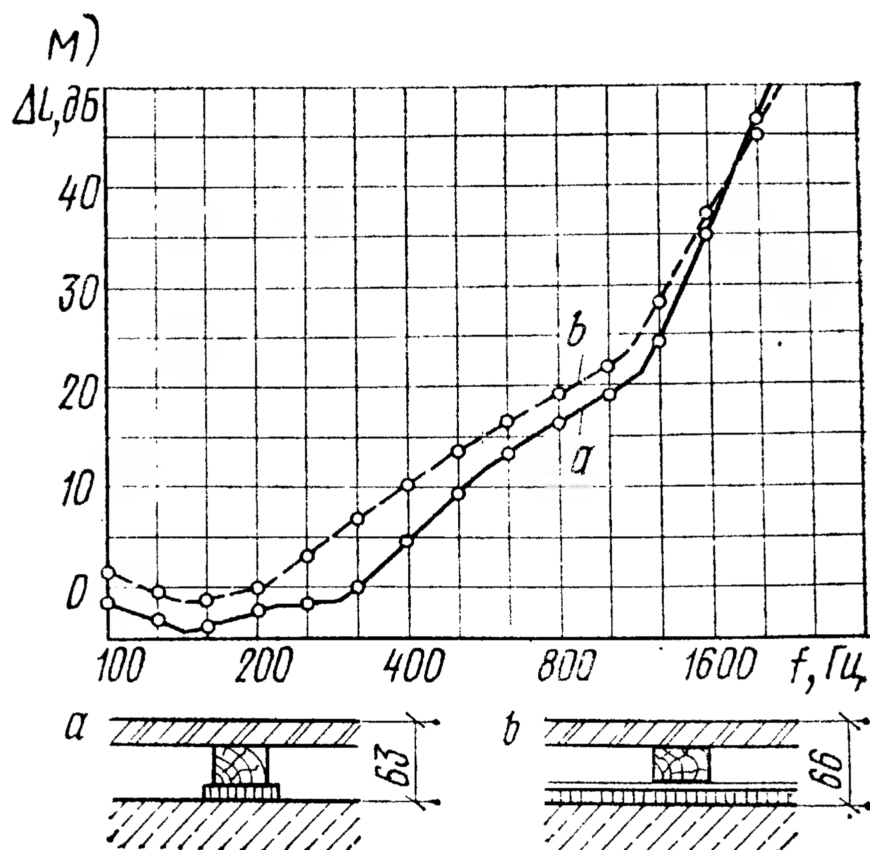


ПХВ, 1,8 мм; отделочный слой, 10 мм; изоляционная плита, 30 мм; промасленная бумага; два слоя стеклоткани; доменный шлак (связанный), 30 мм; М=90 кг (1 м²); улучшение звукоизоляции составляет 28 дБ; *c* — паркет, 9 мм; цементная стяжка 35 мм, битуминизированная бумага М=350; резиновая крошка, 20 мм; М=80 кг (1 м²); улучшение звукоизоляции составляет 18 дБ

б): *a* — покрытие из ПХВ, 1,8 мм; отделочный слой, 2 мм; цементная стяжка, 45 мм; легкая древесноволокнистая плита, 25 мм; битуминизированная бумага М=350; плита из минерального войлока, 15 мм; М=80 кг (1 м²); улучшение звукоизоляции составляет 24 дБ; *b* — покрытие из ПХВ, 1,8 мм; отделочный слой, 2 мм; цементная стяжка, 45 мм; битуминизированная бумага М-350; плита из минерального волокна 15 мм; М=80 кг (1 м²); улучшение звукоизоляции составляет 19 дБ; *c* — покрытие из ПХВ, 1,8 мм; отделочный слой, 2 мм; цементная стяжка, 32 мм, битуминизированная бумага М-350; два слоя стеклоткани; доменный шлак, 35 мм; М=80 кг (1 м²); улучшение звукоизоляции составляет 18 дБ

в): *a* — покрытие из ПВХ, 1,8 мм; древесностружечная плита, 19 мм; битуминизированная бумага М-350; резиновая крошка; доменный шлак (1 : 1), 30 мм; М=60 кг (1 м²); улучшение звукоизоляции составляет 29 дБ; *b* — паркет, 9 мм; древесностружечная плита 19 мм, промасленная бумага, два слоя стеклоткани; доменный шлак, 30 мм; М=50 кг (1 м²); улучшение звукоизоляции составляет 21 дБ; *c* — покрытие из ПВХ, 1,8 мм; древесностружечная плита, 19 мм; один слой стеклоткани; битуминизированная бумага М-350; доменный шлак, 30 мм; М=40 кг (1 м²); улучшение звукоизоляции составляет 18 дБ





г): *а* — мастика, 1 мм; стяжка из литого асфальта, 30 мм; плита из минерального волокна, 25 мм; M=60 кг (1 м^2); улучшение звукоизоляции составляет 31 дБ; *b* — мастика, 2 мм; ангидритовая стяжка, 45 мм; битуминизированная бумага М-350; плита из минерального волокна, 15 мм; выравнивающая стяжка, 20 мм; M=75 кг (1 м^2); улучшение звукоизоляции составляет 24 дБ; *с* — мастика, 2 мм; ангидритовая стяжка, 15 мм; легкий бетон, 30 мм; битуминизированная бумага М-350; плита из минерального волокна, 10 мм; M=45 кг (1 м^2); улучшение звукоизоляции составляет 19 дБ

д): *а* — цементная стяжка, 23 мм; полиэтиленовая пленка, вермикулитовая засыпка, 24 мм; M≈75 кг (1 м^2); улучшение звукоизоляции составляет 22 дБ; *b* — цементная стяжка, 43 мм; мат из дробленой пробки, 6 мм; M≈90 кг (1 м^2); улучшение звукоизоляции составляет 15 дБ; *с* — цементная стяжка, 34 мм; пенополистирол, 14 мм; M≈70 кг (1 м^2); улучшение звукоизоляции составляет 14 дБ

е): *а* — цементная стяжка, 45 мм; промасленная бумага; легкая древесноволокнистая плита, 25 мм; M≈115 кг (1 м^2); улучшение звукоизоляции составляет 19 дБ; *b* — цементная стяжка, 30 мм; строительная бумага; легкая древесноволокнистая плита, 12 мм; M≈70 кг (1 м^2); улучшение звукоизоляции составляет 15 дБ; *с* — цементная стяжка, 30 мм; строительная бумага, легкая древесноволокнистая плита, 20 мм, M≈70 кг (1 м^2); улучшение звукоизоляции составляет 18 дБ

ж): *а* — цементная стяжка, 30 мм; легкобетонная плита, 50 мм; стекловойлок, 5 мм; M≈105 кг (1 м^2); улучшение звукоизоляции составляет 32 дБ; *b* — цементная стяжка, 27 мм; легкобетонная плита, 50 мм, гофрированная бумага, 3 мм; M≈92 кг (1 м^2); улучшение звукоизоляции составляет 17 дБ

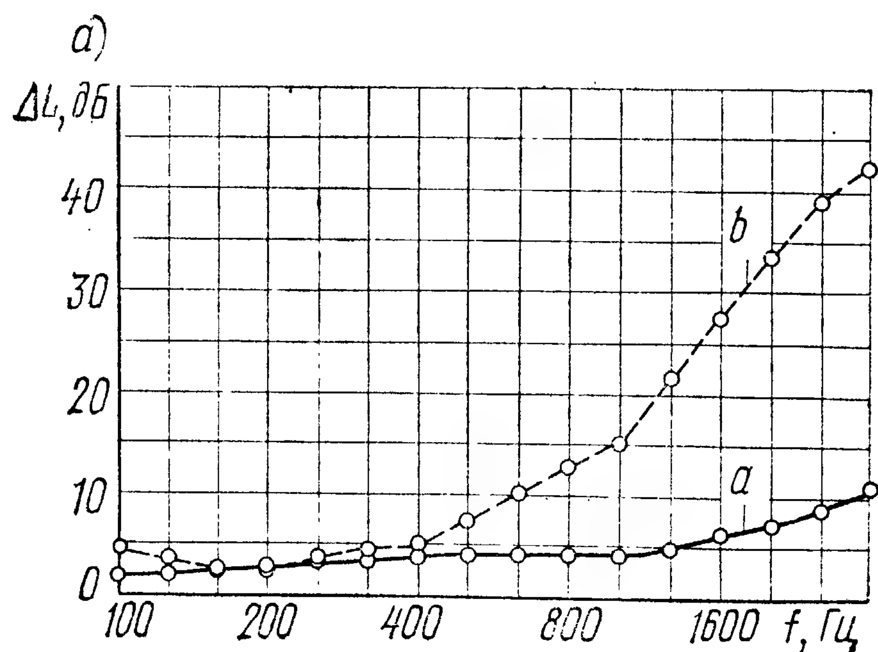
з): *а* — стяжка из пористого бетона, 20 мм; M≈15 кг (1 м^2), улучшение звукоизоляции составляет 2 дБ; *b* — цементный выравнивающий слой, 12 мм; легкобетонная плита, 30 мм; мат из битуминизированного пробкового войлока, 7 мм; M≈45 кг (1 м^2); улучшение звукоизоляции составляет 9 дБ; *с* — стяжка из «фебопорита», 38 мм; битуминизированная бумага; войлок из нетканого стекловойлока, 3 мм; M≈80 кг (1 м^2); улучшение звукоизоляции составляет 22 дБ

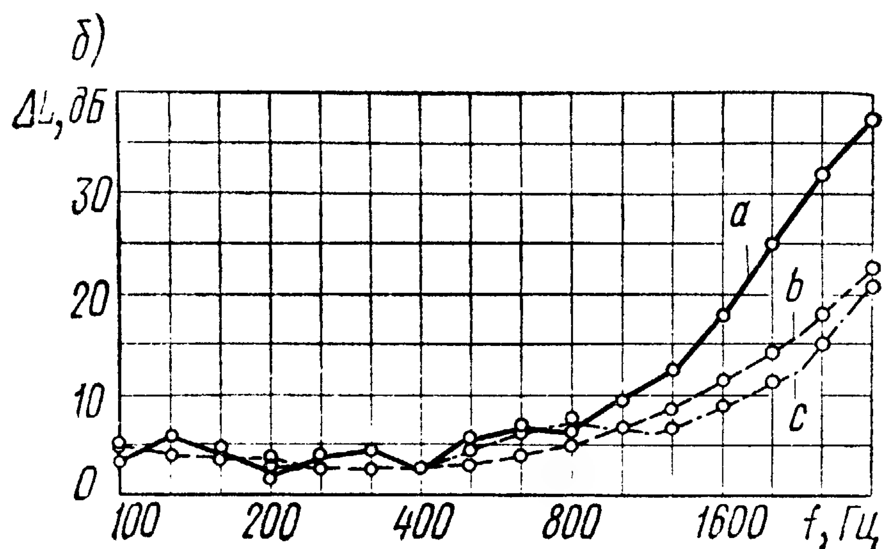
и): *а* — асфальтовая стяжка, 20 мм; M≈40 кг (1 м^2); улучшение звукоизоляции составляет 8 дБ; *b* — асфальтовая стяжка, 35 мм; изоляционный мат из кокосового волокна, 5 мм; M≈65 кг (1 м^2); улучшение звукоизоляции составляет 23 дБ; *с* — асфальтовая стяжка, 28 мм; промасленная бумага; битуминизированная древесноволокнистая плита, 13 мм; M≈65 кг (1 м^2); улучшение звукоизоляции составляет 17 дБ; *d* — асфальтовая стяжка по бумаге, 22 мм; легкая древесноволокнистая плита 18 мм; мат из стекловолокна, 5 мм; M≈55 кг (1 м^2); улучшение звукоизоляции составляет 32 дБ; *е* — асфальтовая стяжка по бумаге, 25 мм; легкая древесноволокнистая плита, 23 мм; мат из кокосового волокна, 8 мм, M≈65 кг (1 м^2); улучшение звукоизоляции составляет 30 дБ

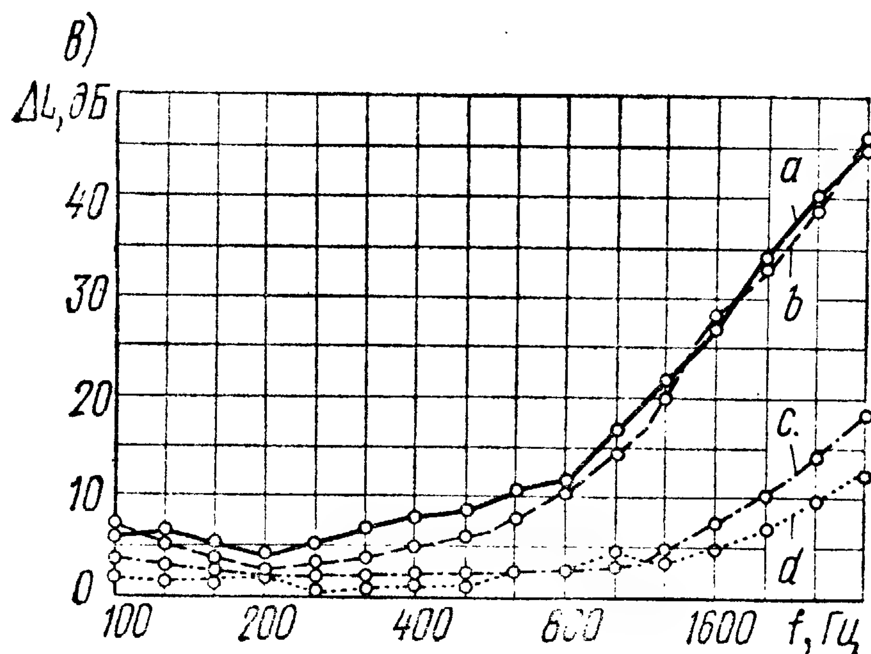
к): *а* — деревянный дощатый пол, 25 мм; черный пол на мягких деревянных прокладках, 25 мм; шлаковая засыпка, 70 мм; M≈120 кг (1 м^2); улучшение звукоизоляции составляет 23 дБ; *b* — деревянный дощатый пол на мягких деревянных прокладках и на стекловойлоке, 25 мм; легкая древесноволокнистая плита, 35 мм; M≈40 кг (1 м^2); улучшение звукоизоляции составляет 24 дБ

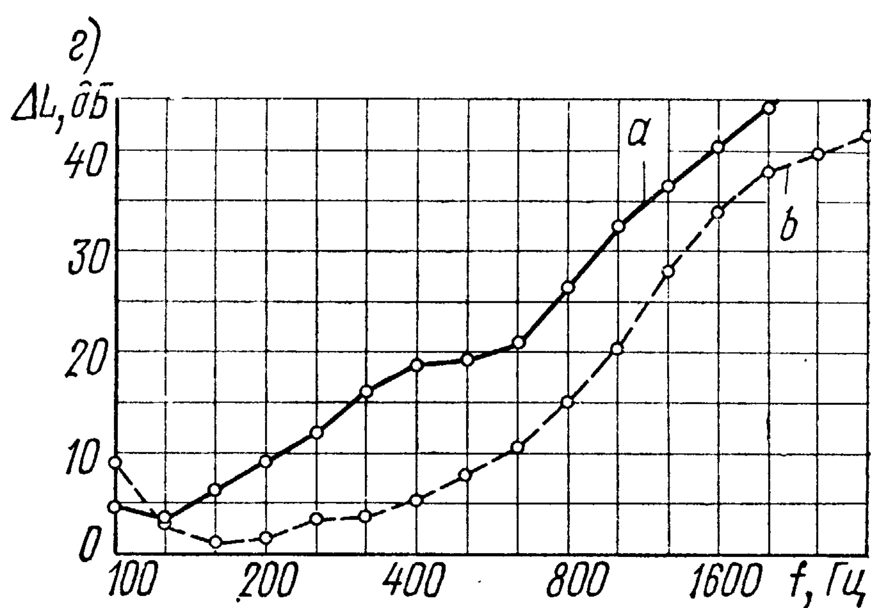
л): *а* — твердая древесноволокнистая плита, 5 мм; изоляционная древесноволокнистая плита, 13 мм; M≈10 кг (1 м^2); улучшение звукоизоляции составляет 19 дБ; *b* — пробковый паркет, 8 мм, прессованная пробка, 4 мм; M≈5 кг (1 м^2); улучшение звукоизоляции составляет 16 дБ; *с* — резиновое покрытие, 4 мм; древесностружечная плита, 16 мм; M≈15 кг (1 м^2), улучшение звукоизоляции составляет 14 дБ

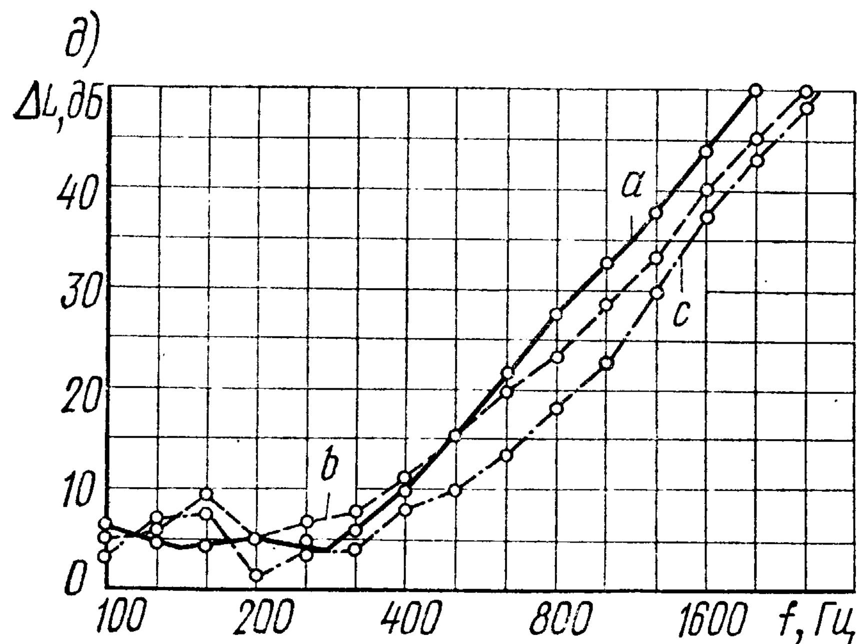
м): *а* — деревянный дощатый пол, 23 мм; деревянные прокладки, 30 мм; изоляционные полосы из древесноволокнистых плит; 10 мм, M≈15 кг (1 м^2); улучшение звукоизоляции составляет 14 дБ; *b* — деревянный дощатый пол, 23 мм; деревянные прокладки, 30 мм; древесноволокнистые изоляционные плиты, 10 мм; M≈23 кг (1 м^2); улучшение звукоизоляции составляет 18 дБ











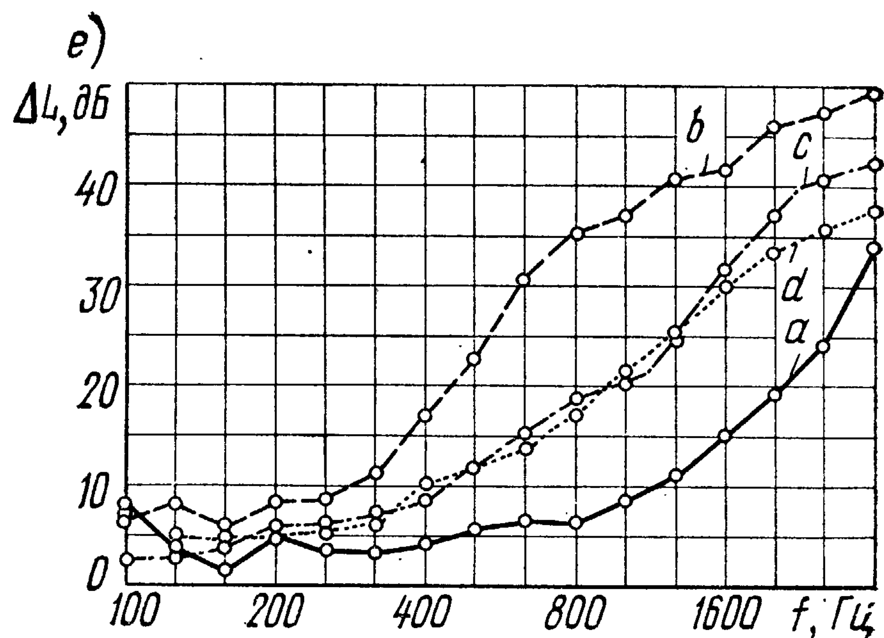


Рис. 198. Улучшение звукоизоляции от ударного шума за счет верхнего покрытия пола [по 10]

а): *a* — покрытие из ПВХ — 1,8 мм, улучшение звукоизоляции 6 дБ; *b* — резиновая плита, —4,5 мм, улучшение звукоизоляции 17 дБ

б): *a* — линолеум — 3 мм, 15 дБ; *b* — окрашенное покрытие из ПВХ — 2,6 мм, 12 дБ; *c* — покрытие из ПВХ для промышленного строительства — 3,5 мм, 11 дБ

в): *a* — покрытие из ПВХ по основанию в виде губчатой резины — 2,5 мм, 18 дБ; *b* — то же, приклеенное к основанию в виде вспененной резины 2,5 мм, 17 дБ; *c* — то же, по основанию из джута — 2,2 мм, 10 дБ; *d* — то же, по тканевому основанию — 2,5 мм, 7 дБ

г): *a* — ковровые полы с основанием в виде сложного пенопласта — 7 мм, 29 дБ; *b* — полы в виде ковра с прошивным ворсом — 5 мм, 22 дБ

д): *a* — ворсовое нитяное букле — 5 мм, 20 дБ; *b* — пол в виде ковра с высоким ворсом — 4 мм, 22 дБ; *c* — то же, с рифленой пенопластовой основой — 6 мм, 19 дБ

е): *a* — покрытие из ПВХ по джутовому войлоку — 3 мм, 14 дБ; *b* — пленка ПВХ по джутовому войлоку — 4 мм, 26 дБ; *c* — покрытие из ПВХ по шерстяному войлоку — 4,5 мм, 19 дБ; *d* — то же, по изоляционному войлоку — 5 мм, 19 дБ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Balkowski, F. D.: Funktionsgerechte Wandkonstruktionen; Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln 1971.
2. Bobran, H. W.: Hanbbuch der Bauphysik, 3. Auflage; Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig 1976.
3. Bruckmeyer, F.: Schalltechnik im Hochbau; Franz Deuticke Verlag 1962.
4. Buch, W.: Das Flachdach, Dissertation; Darmstadt 1961.
5. Cammerer, J. S.: Untersuchungen an zweischaligem Mauerwerk mit dazwischenliegender Luftchischt — Außenwände, Luftschichten und Feuchtigkeitsverteilung; Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1959.
6. Cremer, L. und Heckl, M.: Körperschall; Springer Verlag 1967.
7. Danz, E.: Sonnenschutz; Verlag Gerd Hatje, Stuttgart 1967.
8. Eichler, F.: Bauphysikalische Entwurfslehre, Band 1; Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln 1968.
9. Eichler, F.: Bauphysikaliche Entwurfslehre, Band 2; Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln 1972.
10. Fasold, W. und Sonntag, E.: Bauphysikalische Entwurfslehre 4— Bauakustik; Verlagsgesellschaft Rudolf Müller 1972.
11. Feldkeller, R. und Zwicker, E.: Das Ohr als Nachrichtenempfänger, Hirzel-Verlan 1956.
12. Frick, Knöll, Neumann: Baukonstruktionslehre, Teil 2; 23 Auflage, B. G. Teubner, Stuttgert 1968.
13. Furrer, W. und Lauber, A.: Raum- und Bauakustik; Lärmabwehr, Birkhäuser-Verlag, 3. Auflage 1972.
14. Gösele, K. und Schüle, W.: Schall, Wärme, Feuchtigkeit; Bauverlag, 3. Auftage 1976.
15. Grandjean, E.: Wohnphysiologie; Verlag für Architektur Artemis Zürich 1973.
16. Grassnick, A., Holzapfel, W.: Der schadensfreie Hochbau; Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln 1976.
17. Gruber, W.: Wärmedurchgang an Ecken und vorspringenden Bauteilen; Dissertation, Braunschweig 1969.
18. Grunau, E. B.: Bautenschutz und Bautenschutzmittel; Verlagsgesellschalf Rudolf Müller, Köln 1970.
19. Grunau, E. B.: Verhinderung von Bauschäden; Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln 1973.
20. Grunau, E. B.: Fugen im Hochbau; 2. Auflage, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln 1973.
21. Grunau, E. B.: Die Verblendfassade; Verdagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln 1972.
22. Haferland, F.: Das diffusionstechnische Verhalten mehrschichtiger Außenwände; Bauverlag Wiesbaden 1967.
23. Haferland, F.: Das wärmetechnische Verhalten mehrschichtiger Außenwände; Bauverlag Wiesbaden 1970.
24. Hatrmann, G.: Praktische Akustik 2, Raum- und Bauakustik; Oldenboung-Verlag 1967.
25. Hebgen, H. und Heck, F.: Außenwandkonstruktionen mit optimalem Wärmeschutz; Bertelmann Fachverlag, Düsseldorf 1973.

26. Henn, W.: Außenwände, Verlag Georg D. W. Callwey, München 1975.
27. Hentschel, H. J.: Licht und Beleuchtung; Siemens AG, Berlin und München 1972.
28. Hoch, E.: Flachdächer Flachdachschäden; Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln 1973.
29. Hoch, E.: Kommentar Flachdächer; Verlagesellschaft Rudolf Müller, Köln 1971.
30. Jungnickel, H. u. a.: Abdichtungs- und Bedachungstechnik mit Kunststoffbahnen; Varlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln 1969.
31. Klopfer, H.: Anstrichschäden; Bauverlag Wiesbaden und Berlin 1976.
32. Klopfer, H.: Wassertransport durch Diffusion in Feststoffen; Bauverlag Wiesbaden 1974.
33. Krause, C.: Außenwandsysteme; Verlagsgesellschalf Rudolf Müller, Köln 1970.
34. Kurtze, G.: Physik und Technik der Lärmbekämpfung; G. Braun 1964.
35. Lade, K. und Winkler, A.: Ursachen der Putz- und Anstrichschäden; 1. Auflage, Carl Maurer-Verlag, Geislingen 1956.
36. Lippsmeier, G.: Tropenbau; Verlag Georg D. W.. Callwey, Münhen 1969.
37. Lufsky, K.: Bauwerk, Sabdich tungen; B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart 1975.
38. Meyer, W.: Mauerwerksbau; Verlagsanstalt Walter Koch GmbH, Stuttgart 1973.
39. Moritz, K.: Flachbachhandbuch; Bauverlag Wiesbaden 1975.
40. Olgyay+Olgyay: Solar Control anad Shading Devices; Princeton University Press 1957.
41. Olgyay+V.: Design with Climate; Princeton University Press 1969.
42. Piepenburg, W.: Mötel-Mauerwerk-Putz; 6. Auflage, Bauverlag GmbH, und Berlin 1970.
43. Pütz, J. u. a.: HiFi, Ultraschall und Lärm — Die Welt des Schalls; Verlagsgesellschaft Schulfernsehen 1973.
44. Recknagel und Sprenger: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik; 58. Ausgabe, R. Oldenbourg, München und Wien 1974.
45. Reichert, H.: Sperrschicht und Dichtschicht im Hochbau; Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln 1974.
46. Reinders, H.: Mensch und Klima; VDI-Verlag Düsseldorf 1969.
47. Rick, A. W.: Das flache Dach; 5. Auflage, Straßenbau, Chemie und Technik Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg 1966.
48. Rietschel und Raiß: Heiz- und Klimatechnik; 15. Auflage, 1. Band, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
49. Roth und Gaber: Kommentar zum Vertragsrecht nur zur Gebührenordnung für Architekten; 4. Auflage, Ullstein, Berlin 1960.
50. Rybicki, R.: Schäden und Mängel an Baukonstruktionen; 2.Auflage, Wernen-Verlag, Düsseldorf 1974.
51. Sage, K.: Handbuch der Haustechnik; Ullstein, Berlin 1967.
52. Schaupp, W.: Die Außenwand; 2.Auflage, Verlag Georg D. W. Callwey, München 1965.
53. Schild, E. u. a.: Schwachstellen; Bd. I, Dächer, Dachterrassen und Balkone, Bauverlag Wiesbaden 1976.

54. Schild, E. u. a.: Schwachstellen; Bd. II, Außenwände und Öffnungsanschlüsse, Bauverlag Wiesbaden 1977.
55. Schlenker, H.: Die Fachkunde der Bauklempnerei; A. W. Geutner Verlag, Stuttgart 1971.
56. Schmidt, H.: Schalltechnisches Taschenbuch; VDI-Verlag 1968.
57. Schreiber, L.: Lärmschutz im Städtebau; Bauverlag 1971.
58. Schweizerische Lichttechnische Gesellschaft, Österreichische Lichttechnische Arbeitsgemeinschaft, Lichttechnische Gesellschaft e. V. BRD: Handbuch für Beleuchtung; Verlag W. Girardet, Essen 1975.
59. Seiffert, K.: Richtig belüftete Flachdächer ohne Feuchtluftprobleme; Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin 1973.
60. Seiffert, K.: Wasserdampfdiffusion im Bauwesen; 2. Auflage, Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin.
61. Ullrich, W.: HOAI 1977 Honorarordnung für Architekten und Ingenieure; Luchterhand, Darmstadt 1976.
62. Volger, K.: Haustechnik; Teubner-Verlag 1971. -
63. Wahl, G. P.: Handbuch der Beutenschutztechniken; Deutsche Verlaganstalt, Stuttdart 1970.
64. Albert, E.: Tagesbeleuchtung für Innenräume; Bauwelt, Heft 21, 1970.
65. Balkowski, F. D.: Dachdecken mit zusätzlicher Wärmedämmung; Deutsches Dachdeckerhandwerk (DDH), Heft 12, 1966.
66. Balkowski, F. D.: Die Ausbildung von zweischaligen Dächern; Das Baugewerbe, Heft 20, 973.
67. Balkowski, F. D.: Die Rißbildung am Deckenauflager; Das Dachdeckerhandwerk (DDH), Heft 2, 1975.
68. Balkowski, F. D.: Voraussetzungen für die Fassadenbekleidungen; Das Dachdeckerhandwerk (DDHt), Heft 21, 1975.
69. Bauwelt: Sonnenschutzgläser, Übersicht über technische Daten, Bauwelt, Heft 34, 1972.
70. Berger, R.: Über die Schalldurchlässigkeit; Dissertation, München 1910.
71. Beuße, H.: Fassadenverkleidung aus Spaltplatten und Spaltklinkern; Architekt und Ingenieur, Heft 11, 1970.
72. Beuße, H.: Ursachen von Außenputzschäden; Architekt und Ingenieur, Heft 10, 1969.
73. Beyer, W.: Besonnung von Bauwerken; Deutsche Bauinformation 1970.
74. Bobran, H. W.: Gebremstes Sonnenlicht; Deutsche Bauzeitung, Heft 9, 1974.
75. Bobran, H. W.: Kemmerich, C.: Vor-und Nachteile innenseitiger Wärmedämmschichten; Boden, Wand und Decke, Heft 3, 1965.
76. Böckl, W.: Erläuterungen zu den ergänzenden Bestimmungen zu DIN 4108; Das Baugewerbe, Heft 19, 1975.
77. Brand, B.: Sonnenschutzeinrichtungen und das Raumklima; Deutsche Architektur, Heft 4, 1972.
78. Brandes, K.: Dächer mit massiven Deckenkonstruktionen; Berichte au der Bauforschung, Heft 87, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1973.
79. Brandt, H. J.: Anforderungen der Tagesbeleuchtung an Fensterabmessungen; Klima und Kälte-Ingenieur, Heft 2, 1976.
80. Bruckmeyer, F.: Grundlagen der Ruheschutzplanung im Wohnbereich; Kampf dem Lärm, Heft 12, 1965.

81. Buch, W.: Das schwere und das leichte Flachdach; Deutsches Dachdeckerhandwerk (DDH), Heft 19, 1966.
82. Buch, W.: Grundlegende bauphysikalische Fragen des Flachdaches unter besonderer Berücksichtigung des Wasserdampfproblems; Bitumen; Teere, Asphalte, Peche, Heft 10, 1971.
83. Buch, W.: Temperaturmessungen an flachen Dächern; Bitumen, Teere, Asphalte, Heft 10, 1973.
84. Budach, P.: Der Transmissionsgrad einer schlitzförmigen Öffnung geringer Tiefe in einer ebenen, unendlich ausgedehnten Wand bei diffusem Schalleinfall; Hochfrequenztechnik und Elektroakustik, Heft 5/6, 1968.
85. Bürck, W. u. a.: Fluglarm, seine Messung und Bewertung, seine Berücksichtigung bei der Siedlungsrlanung, Maßnahmen zu seiner Minderung; Gutachten im Auftrage des BM für Gesundheitswesen, Göttingen, Mai 1965.
86. Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau: Schallschützende Bauteile für städtebauliche Maßnahmen gegen Verkehrs- und Fluglärm; Schriftenreihe Städtebauliche Forschung 03. 020, 1974.
87. Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie: Ziegel; Bauberatung.
88. Caemmerer, W.: Berechnung der Wasserdampfdurchlässigkeit und Bemessung des Feuchtigkeitsschutzes von Bauteilen; Berichte aus der Bauforschung, Heft 51, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1968.
89. Caemmerer, W.: Die Problematik des Sonnenschutzes von Gebäuden; Gesundheits-Ingenieur, Heft 3, 1967.
90. Caemmerer, W.: Das Fenster als wärmeschutztechnisches Bauelement; Heizung-Lüftung-Haustechnik 17, Heft 4, 1966.
91. Cammerer, J. S.: Tabellarium aller wichtigen Größen für den Wärme-Kälte-Schallschutz; Technisch-wissenschaftliche Abteilung der Rheinhold und Mahla GmbH, 11. Auflage.
92. Cammerer, W. F.: Der Wärme und Diffusionsschutz des Flachdachs nach dem heutigen Forschungsstand; Bitumen, Teere, Asphalte, Peche, Heft 10, 1971.
93. Carroux, A.: Schalldämmende Fenster mit zusätzlicher Belüftung für Wohnräume in Wohnungen mit gehobenem Schallschutz; Kampf dem Lärm 1970, Heft 2, S. 46.
94. Cremer, L. und Eisenberg, A.: Verbesserung der Schalldämmung dünner Wände durch Verringerung ihrer Biegesteifigkeit; Bauplanung und Baplanung und Bautechnik, 1948.
95. Cremer, H. + L.: Theorie der Entstehung des Klopfschalls, Frequenz, Heft 2, 1948.
96. Cremer, L.: Berechnung der Wirkung von Schallbrücken; Acustica, 1954.
97. Cremer, L. und Heckl, M.: Luftschallübertragung über Lüftungs- und Abgaskanäle; Schallschutz von Bauteilen, Wilhelm Ernst & Sohn, 1968.
98. Cremer, L. und Meier, A.: Untersuchungen zum Schallschutz leichter Außenwände; Schallschutz in Gebäuden, Berichte aus der Bauforschung, Heft, 56, 1868, Wilhelm Ernst & Sohn.
99. Cziesielski, E.: Konstruktion und Dichtung bei Außenwandfugen im Beton- und Leichtbetontafelbau; Bauingenieur-Praxis, Heft 56, Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin 1970.

100. Cziesielski, E.: Mehrschichtige Außenwandelemente-Fugenschäden, Bauschädensammlung, Band 1; Forum-Verlag, Stuttgart.
101. Dahmen, E.: Tageslilht und Sonnenschutz; Bauwelt, Heft, 38 und 44, 1966.
102. Ehm, H.: Erhöhter Wärmeschutz im Hochbau — Einfluß auf Heizkosteneinsparung, Baukonstruktion und Baukosten; Sonderdruck aus Styropor-Report 31, 1975.
103. Ehm, H.: Erhöhter Wärmeschutz verordnet?— Erhöhter Wärmeschutz im Hochbau: Einfluß auf Energieeinsparung Baukonstruktionund Baukosten, Styropor-Report, 1975.
104. Eichler, F.: Die umgekehrte Dachdeckung aus bauphysikalischer Sicht; Wärme, Kälte, Schall, Heft 4, 1973.
105. Eisenberg, A.: Schalldämmung von Doppelwänden aus Leichtbeton, Schallschutz von Bauteilen; Wilhelm Ernst & Sohn.
106. Eisenberg, A.: Schalldämmung von Fenstern. Schalldämmung von Türen und Fenstern; Berichte aus der Bauforschung, Heft 63, 1969, Wilhelm Ernst & Sohn.
107. Eisenberg, A.: Die Schalldämmung von Gläsern und Verglasungen; Glastechnische Berichte, Heft 8, 1958.
108. Eisenberg, A.: Versuche zur Körperschalldämmung in Gebäuden; Forschungsberichte des Wirtschafts- und Verkehrsministeriums NRW, Nr. 651, 1968, Westdeutscher Verlag.
109. Eisenberg, A.: Untersuchungen über Schalldämmung zwischen benachbarten Räumen mit Schalldämmung zwischen benachbarten Räumen mit durchlaufendem schwimmenden Estrich; Boden/Wand und Decke, Heft 9, 1968.
110. Erler, W.: Die Bestimmung der Nebenwege bei Luftschall nach der Methode der Körperschallmessung und Körperschallerregung; Hochfrequenztechnik und Elektroakustik 67/1959.
111. Esser's kleine Handbuch-Reihe: Wie hell ist hell?; 1. Auflage 1970.
112. Fachverband keramische Spaltplatten und Baukeramik e. V. und Fachverband des Deutschen Fliesengewerbes im Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e. V.: Fassadenbekleidungen mit keramischen Spaltplatten, Januar 1968.
113. Fasold, W.: Untersuchungen über den Verlauf der Sollkurve für den Trittschallschutz im Wohnungsbau; Acustia,a, Heft 5, 1965.
114. Fasold, W.: Zur Prüfung der Trittschalldämmung von Gehbelägen; Hochfrequenztechnik und Elektroakustik, Heft 4, 1964.
115. Fasold, W.: Beitrag zur Ermittlung des Einflusses von einzelnen kleinen Öffnungen auf die Schalldämmung; Hochfrequenztechnik und Elektroakustik, Heft 3, 1963.
116. Fasold, W. und Merkel, G.: Einfluß der Flankenwegübertragung; Schriftenreihe der Bauforschung, Reihe Technik und Organisation 24/1969, Deutsche Bauinformation.
117. Fasold, W. und Wende, H.: Lärmentwicklung in Städten; Schriftenreihe der Bauforschung, Reihe Technik und Organisation 35/1970, Deutsche Bauinformation.
118. Fehér, J.: Jahresbilanz der Kondensationsfeuchtigkeit in mehrschichtigen undelüfteten Außenwänden; Gesundheits-Ingenieur, Heft 4, 1969.

119. Fliesenberatungsstelle e. V. -Untersuchungsinstitut: Merkblätter, 1969.
120. Förster, W.: Ursachen für Risse im Putz; Information Edelputz, 12, Mitteilngen der Bayrischen Edelputzindustrie.
121. Frank, Gertis, Künzel, Snatzke: Sonneneinstrahlung-Fenster-Raumklima; Berichte aus der Bauforschung, Heft 66, 1970.
122. Freymuth, H.: Sonne und Raumklima; Heizung-Lüftung-Haustechnik, Heft 7, 1964.
123. Frymuth, H.: Zuviel Sonnenschutz?; Sonderdruck aus Heizung-Lüftung-Haustechnik 17, Heft 5, 1966.
124. Freymuth, H.: Zusammenhänge zwischen Tagesbeleuchtung, Sonnenschutz und Raumklima; Mitteilungen Nr. 14, 1967, Institut für Tageslicht-Technik, Stuttgart-Vaihingen.
125. Freymuth, H.: Beleuchtung und Klima in Räumen für Kinder; Bauwelt, Heft 1—9, 1971.
126. Freymuth, H.: Über Grundlagen und Grenzen der Tageslichttechnik; Sonderdruck aus Bauwelt, Heft 26, 1973.
127. Freymuth, H.: Leuchtdichteverteilung und Beleuchtungsstärken in Räumen, uberlegungen zu Kostenvergleichen zwischen Tageslicht und künstlichem Licht; TAB 5/1974.
128. Gäbges, P.: Die Dampfsperre im Flachdach; Bitumen, Teere, Asphalte, Peche, Heft 10, 1970.
129. Gertis, K.: Dampfsperre auch beim belüfteten Dach? Mitteilungen des Instituts für Bau physik der Fraunhofer Gesellschaft Nr. 16.
130. Gertis, K.: Die Erwärmung von Räumen infolg Sonneneinstrahlung durch Fenster; Berichte aus der Bauforschung, Heft 66, 1970.
131. Gertis, K.: Fenster und Sonnenschutz, Sonderdruck aus Glaswelt, Heft 5, 1972.
132. Gertis, Kießi: Temperaturverhalten des Umkehrdaches beim Unterströmen der Dämmplatten; Mitteilungen des Instituts für Bauphysik der Fraunhofer-Gesellschaft Nr. 14.
133. Gilgen, A. und Barrier, A.: Die Besonnung von Wohnungen; Wohnungsmedizin, Heft 5, 1970.
134. Glas im Bau: Ein technischer Leitfaden, 5. Auflage 1976.
135. Glaser: Graphisches Verfahren zur Untersuchung von Diffusionsvorgängen; Kältetechnik, Heft 10, 1959.
136. Glatz: Vermeidung von Bauschäden aus Volumenveränderung von Baustoffen und Bauteilen; Sonderdruck Ziegel, Fachverbände Ziegelindustrie, Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen.
137. Gösele, K.: Zur Luftschalldämmung von einschaligen Wänden und Decken ; Acustica, 1968.
138. Gösele, K.: Der Einfluß der Biegesteifigkeit auf Schalldämmung von Doppelwänden; Acustica, 1964.
139. Gösele, K.: Zur Abhängigkeit der Trittschallminderung von Fußböden von der verwendeten Deckenart; Schallschutz von Bauteilen, Berichte aus der Bauforschung; Wilhelm Ernst & Sohn, 1960.
140. Gösele, K.: Schalldämmung von Türen; Berichte aus der Bauforschung, Heft 63, 1969, Wilhelm Ernst & Sohn.
141. Gösele, K.: und Bürk, O.: Verfahren zur unmittelbaren Bestimmung des Trittschallschutzes von Decken; Berichte aus der Bauforschung, Heft

35, 1964, Wilhelm Ernst & Sohn.
142. Gösele, K. und Voigtsberger, C. A.: Untersuchungen zur Schallängsleitung in Bauten; Berichte aus der Bauforschung, Heft 56, 1968, Wilhelm Ernst Sohn.
143. Gösele, K.: Die schalltechnischen Eigenschaften von Holzwolle-Leichtbauplatten; Veröffentlichungen des Instituts für Techn. Physik, Heft 36, 1956.
144. Gösele K:. Die Schalldämmung von Holzbakendecken; Veröffentlichungen des Instituts für Techn. Physik, Heft 23, 1952.
145. Gösele, K.: Über das schalltechnische Verhalten von Skelettbauten; Veröffentlichungen des Instituts für Techn. Physik, Heft 45, 1960.
146. Gösele, K.: Verschlechterung der Schalldämmung von Decken und Wänden durch anbetonierte Wärmedämmplatten; Gesundheitsingenieur, Heft 11, 1961.
147. Gösele, K.: Zur Dämmung von Dehgeräuschen; Gesundheitsingenieur 1959.
148. Gösele, K.: Der Einfluß der Hauskonstruktion auf die Schallängsleitung bei Bauten; Gesundheitsingenieur 1954.
149. Gösele, K. und Voigtsbereger, C. A.: Armaturengeräusche und Wege zu ihrer Verminderung; Gesundheitsingenieur, Heft 5 und 6, 1968.
150. Gösele, K.: Die zahlenmäßige Kennzeichnung der Trittschalldämmung von Fußböden durch das Verbesserungsmaß; Die Schalltechnik, Heft 42.
151. Gösele, K.: Zum Alterungsverhalten von Trittschalldämmstoffen; Deutsche Bauzeitung, Heft 10, 1958.
152. Gösele, K. und Jehle, R.: Verbesserung der Schalldämmung von Doppelwänden aus biegesteifen Schalen; Deutsche Bauzeitung, Heft 7, 1979.
153. Gösele, K.: Über die Schalldämmung von Leichtwänden; Die Bauzeitung 6—7, 1951.
154. Gösele, K.: Lärmminderung bie Maschinen durch Kapselung; Motortechnische Zeitschrift, Heft 5, 1961.
155. Gösele, K.: Der schalltechnisch richtige Aufbau von zweischaligen Massivdecken; Boden und Decke 1955.
156. Gösele, K.: Untersuchungen zur Verbesserung des Schallschutzes von Holzbalkendecken; Mitteilungsheft der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, Heft 47, 1960.
157. Gösele, K.: Trittschall — Entstehung und Dämmung; VDI-Berichte, Heft 8, 1956.
158. Gösele, K.: Über Schallbrücken bei schwimmenden Estrichen; Die Schalltechnik, Heft 39—40, 1960.
159. Cösele, K. und Bach, M. R.: Die Schallausbreitung in Installationsleitungen und ihre Verminderung; Veröffentlichung der Forschungsgemeinschaft Bauen und Wohnen, 1959.
160. Gösele, K.: Schalldämmung von Fenstern: Vortrag, Seminar «Neue Erkenntnisse der Bauphysik», Stuttgart 25.3.1976.
161. Grandjean, E.: Untersuchugen über Sonnenschutzanordnung und raumklimatische Bedingungen in der warmen Jahreszeit; Detail, Heft 3, 1970.
162. Grandjean, E. und Rhiner, A.: Sonnenschutz und Raumklima; Bauen und Wohnen, Heft 1, 1970.
163. Grün, W.: Die Kunst der Fuge; Deutsche Bauzeitschrift, Heft 5, 1968.
164. Grün, W.: Schutz von Fassaden vor schädlichen Einwirkungen; Architekt und Ingenieur, Heft 9, 1968.
165. Grün, W. und Müller, H. J.: Sind Dampfsperren im Warmdach wirklich fragwürdig?; Der Dachdeckermeister, Heft 10, 1970.

166. Grün, W.: Zur Frage des Wasserhaushaltes in Außenwänden; Deutsche Bauzeitschrift (DBZ), Heft 6, 1966.
167. Grunau, E.: Außenputze als Bautenschutz; Deutsches Architektenblatt (DAB), Heft 12, 1969.
168. Grunau, E.: Berechnung der Wasserbelastung von Fassaden; Deutsche Bauzeitschrift (DBZ), Heft 12, 1972.
169. Grunau, E.: Berechnungsgrundlagen für die Auslegung von Fugen; Sonderdruck, Das Baugewerbe, Heft 21, 1971.
170. Grunau, E.: Bautenschutz und Fugenabdichtung; Deutsches Architektenblatt (DAB), Heft 11, 1975.
171. Grunau, E.: Die Berechnung von Bauwerksfugen mit Kunststoffabdichtungen; Plasticonstruction, Heft, 3 1971.
172. Grunau, E.: Fassadenimprägnierungen — Das richtige Mittel richtig anwenden; Das Baugewerbe, Heft 15, 1975.
173. Grunau, E.: Fugenauslegung und Fugenabdichtung einer Betonwand; Bauschädensammlung, Band 1, Forum-Verlag, Stuttgart.
174. Grunau, E.: Lebenserwartung von Dichtstoffen im Hochbau; Sonderdruck, Das Baugewerbe, Heft 5, 1976.
175. Grunau, E.: Putze und Mörtel; Das Baugewerbe, Heft 23/1974, Heft 5/1975.
176. Grunau, E.: Verantwortung und Möglichkeit des Architekten für eine sichere Verfugung im Hochbau; Deutsche Bauzeitung (db), Heft 12/1968, Heft 1/1969.
177. Grunau, E.: Wie kann Ziegelmauerwerk vor Durchfeuchtungen geschützt werden; Bauwelt, Heft 13/1975.
178. Grunau, E.: Verhinderung von Schäden an Verblendmauerwerk; dbt, Heft 10, 1964.
179. Grunau, E.: Durchfeuchtung von Außenwänden; Forum-Fortbildung Bau 6; Forum-Verlag, Stuttgart 1976.
180. Haferland, F.: Zum diffusionstechnischen Verhalten mehrschichtiger Außenwände—Konstruktionsmängel und ihre Vermeidung; Detail, Heft 6/1967.
181. Haferland, F.: Zur Bauphysik geneigter Dächer; Dachatlas, Geneigte Dächer, Institut für internationale Architektur — Dokumentation, München 1975.
182. Harre, W.: Gemauerte Hochbauten — Feuchtetechnische, bauphysikalische und technologische Zusammenhänge im Mauerwerksbau; Jahrbuch Ziegel 1971/1972.
183. Harre, W.: Schlagregensichere Wandkonstruktionen aus Ziegelmauerwerk; Industrieanzeiger, Heft 42, 1968.
184. Hauck, W.: Äußere Wärmedämmschicht mit erneuertem Dispersionsputz; Putzrisse über Stoßfugen der Dämmplatten; Bauschädensammlung, Band 2, Forum-Verlag, Stuttgart 1976.
185. Haushofer, B.: Ein Flachdach ist stets so gut wie seine Anschlüsse; Deutsches Dachdeckerhandwerk (DDH), Heft 10/1968.
186. Heckl, M.: Die Schalldämmung von homogenen Einfachwänden endlicher Fläche, Acustica, 1960.
187. Heckl, M.: Untersuchungen über die Luftschalldämmung von Doppelwänden und Schallbrücken; Proceedings of the Third International Congress on Acustics, Stuttgart 1959.

188. Heckl, M.: Messungen an Schallbrücken zwischen Estrich und Rohdecke; Acustica, 1954.
189. Hempel, K.: Trittschalldämmung von Treppen; Schriftenreihe Technik und Organisation, Deutsche Bauinformation, Heft 10, 1967.
190. Hempel, K.: Akustische Untersuchungen an Rohrschellen und Rohrdurchführungen; Schriftenreihe Technik und Organisation, Deutsche Bauinformation, Heft 24, 1968.
191. Hempel, K.: Erprobung körperschallisolierter Einbauwannen; Schriftenreihe Technik und Organisation, Deutsche Bauinformation, Heft 7, 1969.
192. Hempel, K. und Laue, G.: Körperschalldämmende Rohrdurchführungen und Rohrschellen; Stadt- und Gebäudetechnik, Heft 8, 1968.
193. Henjes, K.: Sonnenschutzanlagen; DBZ-Detail, Heft 9, 1967.
194. Hoch, E.: Das zweischalige Flachdach; Das Dachdeckerhandwerk (DDH), Heft 10, 1971.
195. Hoch, E.: Tragende Dachschalen aus Stahlbeton; Das Baugewerbe, Heft 7, 1974.
196. Hoch E. Zweischalige Flachdachkonstruktinoen — einst sichere Flachdächer, heute fragwürdige Funktionstypen; Das Dachdeckerhandwerk (DDH), Heft 11, 1975.
197. Hohn, R.: Wirkungsweise von Beton-Dichtungsmitteln; Deutsche Bauzeitschrift (DBZ), Heft 8, 1975.
198. Holzapfel, W.: Abdichtungsbahnen aus Kunststoff; Das Dachdeckerhandwerk (DDH), Heft 1, 1975.
199. Hubert, M. und Nawrot, W.: Schalldämmung von Rollläden; Schalldämmung von Türen und Fenstern, Berichte aus der Bauforschung, Heft 63, 1969, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn.
200. Hubert, M. und Schmidt, W.: Geräusche von Rolläden; Schalldämmung von Türen und Fenstern, Berichte aus der Bauforschung, Heft 63, 1969, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn.
201. Hubert, M.: Einlaufgeräusche bei Badewannen, Berichte aus der Bauforschung, Heft 63, 1969, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn.
202. Hummel, J.: Abschlüsse und Anschlüsse im flachen Dach; Deutsches Dachdeckerhandwerk (DDH), Heft 14, 1969.
203. Institut für Bautechnik, Berlin: Richtlinien für Fassadenbekleidungen mit und ohne Unterkonstruktion; Das Dachdeckerhandwerk, Heft 6, 1975.
204. Irle, W.: Schlagregensicheres Ziegelschicht- und Verblendmauerwerk; Sonderdruck, Die Ziegelindustrie, Heft 24, 1966.
205. Jenisch: Austrocknung nichtbelüfteter Flachdächer; Berichte aus der Bauforschung, Heft 102, Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin 1975.
206. Jenisch: Berechnung der Feuchtigkeitskondensation in Außenbauteilen abhängig vom Außenklima; Gesundheits-Ingenieur, Heft 9, 1971.
207. Jenisch, Schüle: Untersuchung verschiedener Verfahren zur Beurteilung des klimabedingten Feuchtigkeitsschutzes; Berichte aus der Bauforschung, Heft 102, 1975. Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin.
208. Kakrow, K. H.: Detailausbildung in der Flachdachabdichtung; Deutsches Dachdeckerhandwerk (DDH). Heft 1, 1968.
209. Kanis, H.: Umlüftete Gebäude — zweischalige Dächer und hinterlüftete Fassaden; Das Baugewerbe, Heft 5, 1976.

210. Kirtschig, K.: Schlagregensicheres Mauerwerk; Mauerwerk-Kalender, 1976, Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin.

211. Klapdor, D.: Die Genauigkeit raum- und bauakustischer Messungen; Dissertation an der TH Karlsruhe 1955.

212. Köhling, K. und Hohwiller, F.: Dämmputz-Mörtel und Beschichtungen unter Verwendung von expandierten Styropor-Partikeln; Kunststoffe im Bau, Heft 30, 1973.

213. Knop, W. D.: Schallausbreitung in Stadtstraßen; Dissertation an der TH Aachen.

214. Köneke, R.: Betonschutz aktuell; Das Baugewerbe, Heft 1—3, 1973, Heft 5—7, 1973, Heft 9, 1973, Heft 15, 1973.

215. Köneke, R.: Imprägnierung von Mauerwerk oder Beton; Das Baugewerbe, Heft 12, 1975.

216. Köneke, R.: Imprägniertechnik und Imprägnierarten; Bauwelt, Heft 35, 1975.

217. Kraak, W.: Schallausbreitung in flachen, großen Räumen unter Berücksichtigung von Streukörpern und Absorptionseinflüssen; Schriftenreihe Technik und Organisation, Deutsche Bauinformation.

218. Kramer-Doblander, H.: Temperaturspannungen in Flachdachkonstruktionen; Bitumen, Teere, Asphalte, Peche, Heft 3, 1971.

219. Kristen, Th. und Blunk, G.: Untersuchungen über die Regendurchlässigkeit von Außenwänden zur Klärung von Bauschäden; Außenwände-Untersuchungen und Versuche, durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungsbau, Berlin 1959, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn.

220. Krochmann, J.: Berechnung der Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht; TAB, Heft 5, 1971.

221. Krochmann, J.: Über die Bedeutung des Tageslichtes für Menschen im Innenraum; Klima und Kälte-Ingenieur, Heft 2, 1976.

222. Künzel, H.: Der Wärmeschutz beim umgekehrten Dach; Mitteilungen des Instituts für Bauphysik der Fraunhofer-Gesellschaft Nr. 12.

223. Künzel, H.: Einfluß des Putzgrundes und der Herstellungsbedingungen auf die Saugfähigkeit von Außenputzen; Berichte aus der Bauforschung, Heft 79, 1972, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin.

224. Künzel, H. und Schwarz: Feuchtigkeitsaufnahme von Baustoffen bei Beregnung; Berichte aus der Bauforschung. Heft 51, 1968, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin.

225. Künzel, H.: Feuchtigkeitstechnische Eigenschaften und Formänderungen von Kunstharzbeschichtungen an Außenwänden; Berichte aus der Bauforschung, Heft 79, 1972, Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin.

226. Künzel, H.: Grundsätzliches zum Regenschutz von Wandkonstruktionen; VDI-Berichte, Heft 273, 1976.

227. Künzel, H. und Mayer, E.: Überprüfung von Außendämmsystemen mit Styropor-Hartschaumplatten; Deutsche Bauzeitschrift (DBZ), Heft 6, 1976.

228. Künzel, H.: Untersuchungen über Wärmebrücken im Wohnungsbau; Berichte aus der Bauforschung, Heft 48, 1966.

229. Künzel, H.: Verhütung und Behebung von Schäden an Außenwänden und Außenwandverkleidungen, hervorgerufen durch mangelhaften Wärme- oder Feuchtigkeitsschutz; Bundesbaublatt, Heft 6, 1971.
230. Künzel, H.: Wand und Fuge unter dem Gesichtspunkt des Regenschutzes; Bundesbaublatt, Heft 7, 1972.
231. Künzel, H. und Snatkze, C.: Zur Wirkung von Sonnenschutzgläsern auf die sommerlichen Temperaturen in Räumen; Gesundheits-Ingenieur, Heft 1, 1969.
232. Lade, Karl: Putzarbeiten, Taschenbuch Hochbauschäden und fehler; Francklische Verlagshandlung, Stuttgart 1967.
233. Land, J.: Schalldämmung von Fenstern und Türen verschiedener Luftdurchlässigkeit; Tagungsberichte vom 4. Internationalen Kongress für Akustik, Kopenhagen 1962.
234. Löber, H.: Sonneneinstrahlung und Raumklima unter den Bedingungen moderner Bauweisen; Dt. Architektur, Heft 4, 1972.
235. Mayer und Rüsch: Bauschäden als Folge der Durchbiegung von Stahlbetonbauteilen; Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Heft 193, 1967. Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin.
236. Meiners, C. O.: Sonnenschutzmaßnahmen und Tageslichtverdunkelungsanlagen; Der Architekt, Heft 2, 1972.
237. Meyer, H. G.: Über die Ursachen von Durchfeuchtungsschäden an Ziegelmauerwerk; Baupraxis, Heft 4, 1969 und Heft 8, 1969.
238. Moll, W.: Schutz von Wohnsiedlungen vor Verkehrsgeräuschen; Kurzberichte aus der Bauforschung. Heft 3—6, 1962.
239. Moritz, K.: Praktische Erfahrungen und Details beim Flachdach; Das Dachdeckerhandwerk (DDH), Heft 18, 1970.
240. Niese, H.: Beitrag zur Relation zwischen Lautstärke und Lästigkeit; Acustica, Heft 15, 1965.
241. Oehme: Anstriche auf Beton; Berichte aus der Bauforschung, Heft 81, 1972, Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin.
242. Oswald, R.: Rißschaden an Außenbauteilen; Stahlbau Nachrichten Sonderdruck, Heft 5, 1976, Fachgemeinschaft Elementiertes Bauen.
243. Oswald, R.: Schäden am Öffnungsbereich als Schadensschwerpunkt bei Außenwänden; Forum-Fortbildung Bau, Heft 6, 1976, Forum-Verlag, Stuttgart.
244. Pfefferkorn: Konstruktive Planungsgrundsätze fur Dachdecken und ihre Unterkonstruktionen; Das Baugewerbe, Heft 18—21, 1973.
245. Piepenburg, W.: Putzschäden und ihre Ursachen; Allianz-Bericht, Nr. 17, 1973.
246. Pieper, K.: Risse im Mauerwerk; Nobel Hefte, 1970.
247. Pieper, K. und Hage, D.: Risse aus Formänderungen des Mauerwerks; Jahrbuch Ziegel, 1971/72.
248. Planckh, R.: Die erforderliche Gleitfähigkeit der Flachdachschichten; Bitumen, Teere, Asphalte, Peche, Heft 10, 1972.
249. Port, E.: Über die Lautstärke einzelner kurzer Schallimpulse; Acustica, Heft 13, 1963.
250. Preussker, H.: Berechnung der Sonneneinstrahlung; Technik am Bau, Heft 3, 1972.

251. Reiher, H.: Wärmeschutz und Feuchtigkeitsverhalten von Außenwänden Deutsche Bauzeitung (DBZ), Heft 10, 1964.
252. Reiher, H., Gösele, K., Jehle, R.: Verbesserung des Schallschutzes von Massivwänden durch Vorsatzschalen — Schallschutz von Bauteilen; Berichte aus der Bauforschung, Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin.
253. Reinders, H.: Sonnenschutz und Energiebedarf; Baumeister, Heft 3, 1974.
254. Rick, A. W.: Dachdurchlüftungen; Deutsches Dachdeckerhandwerk (DDH), Heft 4, 1967.
255. Rick, A. W.: Dampfsperre oder Lüftung?; Bitumen, Teere, Asphalte, Peche, Heft 10, 1967.
256. Rick, A. W.: Einige neue Beobachtungen zur Frage der Dachdurchlüftung; Das Dachdeckerhandwerk (DDH), Heft 1, 1970.
257. Rick, A. W.: Fugenteilungen in Flachdächern; Deutsches Dachdeckerhandwerk (DDH), Heft 20, 1969.
258. Rick, A. W.: Grenzen der Wärmedämmung von Flachdächern; Bitumen, Teere, Asphalte, Peche, Heft 25, 1974.
259. Rick, A. W.: Sind Dampfsperren wirklich unnötig?; Deutsches Dachdeckerhandwerk (DDH), Heft 14, 1969.
260. Rick, A. W.: Verlegen von Deckungen und Dichtungen auf feuchten Flächen bei kaltem Wetter; Deutsches Dachdeckerhandwerk (DDH), Heft 9, 1969.
261. Roedler, F. und Schlüter, G.: Das Wohn- und Arbeitsklima in Räumen mit großen Glasflächen; Berichte aus der Bauforschung, Heft 40, 1964.
262. Rogier, D.: Durchfeuchtungsschäden an Außenbauteilen; Stahlbau Nachrichten, Sonderdruck, Heft 5, 1976.
263. Sage, K.: Klimatische Einflüsse der Fenster; Deutsches Architektenblatt, Heft 9, 1972.
264. Schaupp, W.: Anforderungen an Putzgrund und Baukonstruktion; Information Edelputz 8, Mitteilungen der bayrischen Edelputzindustrie.
265. Schaupp, W.: Das bituminöse Dach ist stets so gut oder so schlecht wie seine Anschlüsse; Deutsches Dachdeckerhandwerk (DDH), Heft 19, 1969.
266. Schaupp, W.: Die neue DIN 18 515 — Fassadenbekleidungen aus Naturwerkstein und Keramik; Allianzbericht, Heft 9, 1969.
267. Schaupp, W.: Konstruktive, materialtechnische und bauphysikalische Überlegungen zur Herstellung von Außenwänden; Betonsteinzeitung, Heft 3, 1967.
268. Schellbach, G. und Irle, W.: Erkenntnisse aus Schlagregenversuchen an Ziegelschicht- und Verblendmauerwerk; Sonderdruck, Die Ziegelindustrie, Heft 24, 1966.
269. Schild, E., Oswald, R., Rogier, D.: Bauschäden im Wohnungsbau Teil 1, Ausmaß und Schwerpunkte, Herausgegeben vom Institut für Landes und Entwicklungsforschung des Landes H. W. im Auftrag des Innenministers N. W.; Verlag Wingen, Essen 1975.
270. Schild, E. u. a.: Bauschäden an Außenwänden und Öffnungsanschlüssen, Ergebnisse einer Umfrage unter Bausachverständigen; RWTH Aachen 1975.
271. Schild, E. u. a.: Bauschäden an Dächern, Dachterrassen und Balkonen, Ergebnisse einer Umfrage unter Bausachverständigen; RWTH Aachen 1975.
272. Schild, E.: Bauschäden und Baufolgeschäden an Flachdächern; Industrie-Anzeiger, Heft 74, 1968.

273. Schild, E.: Planung, Ausschreibung und Ausführung von Warmdächern (Erkenntnisstand 1972); Deutsches Architektenblatt (DAB), Heft 11, 1972.
274. Schild, E.: Untersuchung der Bauschäden an Außenwänden und Öffnungsanschlüssen; Forum-Fortbildung Bau, Heft 6, 1976, Forum-Verlag, Stuttgart.
275. Schlegel, W.: Die Problematik der Durchfeuchtung von Klinker- und Mosaikfassaden; Deutsche Bauzeitschrift (DBZ), Heft 7, 1964.
276. Schmidt, M.: Besonnung im Wohnungsbau; Dt. Architektur, Heft 4, 1972.
277. Schneider, P.: Entstehung und Dämmung von Installationsgeräuschen, Luftschall, Trittschall, Körperschall; Berichte aus der Bauforschung, Heft 35, 1964, Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin.
278. Schoch, A.: Zum Einfluß der seitlichen Begrenzung auf die Schalldurchlässigkeit einfacher Wände; Acustica, 1954.
279. Schreiber, L.: Maßnahmen zur Geräuschminderung bei Wasserinstallationen; VDI-Zeitschrift, Heft 5, 1970.
280. Schüle, W.: Feuchtigkeit in Bauteilen von Wohnhäusern; Berichte aus der Bauforschung, Heft 48, 1966.
281. Schwanen, H.: Schutzanstriche auf Sichtbeton, Erfahrungen — Möglichkeiten — Arbeitstechniken; Detail, Heft 2, 1968.
282. Schwarz: Die kapillare Wasseraufnahme von Baustoffen; Berichte aus der Bauforschung, Heft 86, 1973, Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin.
283. Schwarz, Frank: Schlagregen Meßmethoden — Beanspruchung — Auswirkung; Berichte aus der Bauforschung, Heft 86, 1973, Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin.
284. Schwarz: Wärme- und Stoffübertragung an Außenwandoberflächen; Berichte aus der Bauforschung, Heft 79, 1972, Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin.
285. Seifert, E.: Untersuchung über den Zusammenhang zwischen Fugendichtheit und Schalldämmvermögen von Fenstern; Kurzberichte aus der Bauforschung 1965.
286. Seiffert, K.: Dachdurchlüftungsfragen bei zweischaligen Wohnhaus-Flachdächern; Deutsche Bauzeitung, Heft 4, 1971.
287. Seiffert, K.: Gibt es grundsätzliche Vorteile beim einschaligen oder beim zweischaligen Dach?; Bitumen, Teere, Asphalte, Peche, Heft 18, 1967.
288. Siebel, L.: Die Temperaturzunahme der Raumluft infolge Sonnenstrahlung; TAB, Heft 2, 1973.
289. Sonntag, E:. Die Anregung freier Biegewellen auf Platten bei Luftschalldämmung; Hochfrequenztechnik und Elektroakustik, Heft 74, 1965.
290. Sonntag, E.: Körperschallausbreitung in Stahlbetonskelettbauten; Schriftenreihe Technik und Organisation, Deutsche Bauinformation, Heft 35, 1970.
291. Steinicke, G.: Die Wirkung von Lärm auf den Schlaf des Menschen; Forschungsberichte des Wirtschafts- und Verkehrsministeriums NRW Nr. 416, 1957. Westdeutscher Verlag.
292. Stöbe, D.: Die Schallisolation poröser Absorber bei senkrechtem und statistischem Schalleinfall; Dissertation TU Dresden 1970.
293. Swyter, H. H.: Sichtmauerwerk in ein- und zweischaliger Ausführung nach DIN 1053 (neu); Das Baugewerbe, Heft 1, 1976.

294. Tonne, F.: Besser Bauen 1 und 2 mit Besonnungs- und Tageslichtplanung; Verlag K. Hoffmann, Schorndorf, 1954.
295. Tonne, F.: Schutz vor Hitze; Sonderdruck aus dem Handbuch des Bauwesens, Stuttgart 1958.
296. Tonne, F. und Normann, W.: Die Berechnung der Sonnenwärmestrahlung auf senkrechte und beliebig geneigte Flächen unter Berücksichtigung meteorologischer Messungen; Sonderdruck aus Zeitschrift für Meteorologie, Band 14, Heft 7—9, 1960.
297. Tonne, F. und Szepan, W., Roth, K.: Sonnenschutz an Gebäuden; Institut für Tageslicht-Technik, Stuttgart-Vaihingen, Mitteilungen Nr. 11, 1966.
298. Triebel, W.: Optimaler Wärmeschutz — Baukosten, Heizkosten, Energiebedarf; Deutsche Bauzeitschrift (DBZ), Heft 10, 1974.
299. Verhoeven, A. C.: Zur bauphysikalischen Beurteilung von Flachdachkonstruktionen; Detail, Heft 5, 1968.
300. Völckers, O., Tonne, F., Becker-Freyseng, A.: Licht und Sonne im Wohnungsbau; Bericht der Forschungsgemeinschaft Bauen und Wohnen, Stuttgart 1955.
301. Weber, H.: Siliconharz- oder Silanimprägnierung?; Das Baugewerbe, Heft 24, 1975.
302. Weischer, A.: Fassadenschutz durch Silikone; Bundesbaublatt, Heft 1, 1969.
303. Werner, H., Gertis, K.: Wirtschaftlich optimaler Wärmeschutz von Einfamilienhäusern; kritische Gedanken zu Optimierungsrechnungen; Sonderdruck, Gesundheits-Ingenieur, Heft 1—2, 1976.
304. Wesche, K., Schubert, P.: Risse im Mauerwerk — Ursachen, Kriterien, Messungen; Forum-Fortbildung Bau 6, Forum-Verlag, Stuttgart 1976.
305. Wesche, K., Schubert, P.: Verformung und Rißsicherheit von Mauerwerk; Mauerwerkskalender 1977, Verlag Ernst und Sohn, Berlin 1977.
306. Willms, W., Brebeck, D.: Untersuchung der Schutzwirkung von Schallschirmen gegen Lärm mit Hilfe von Modellmessungen; 5. Internationaler Kongreß für Akustik, Lüttich 1965.
307. Würz, W.: Praktische Erfahrungen mit wasserabweisenden Silikon-Imprägnierungen im Hochdau; Das Baugewerbe, Heft 15, 1975.
308. Zentralverband des Dachdeckerhandwerks: Regeln für die Deckung mit Asbestzement, Januar 1974.
309. Zentralverband des Dachdeckerhandwerks: Regeln für die Deckung mit Schiefer, Hinweise für Außenwand-Verkleidungen aus Metall und Kunststoff, Mai 1977.
310. Zentralverband des Dachdeckerhandwerks: Richtlinien für die Ausführung von Flachdächern; H. Gros Fachverlag, Berlin, 1973.
311. Zimmermann, G.: Belüftetes Flachdach über Schwimmhalle, Feuchtigkeitsschäden infolge bauphysikalische fehlerhafter Lonstruktion; Deutsches Architektenblatt (DAB), Heft 22, 1973.
312. Zimmermann, G.: Schäden an Putzen durch mangelhafte Konstruktionen; Architekt und Ingenieur, Heft 3, 1971.
313. Zimmermann, G.: Volumenänderungen an Bauteilen; Deutsche Bauzeitung (db), Heft 3/69, 5/69, 7/69, 11/69.

314. Zimmermann, K.: Licht- und Wärmeeinstrahlung, Sonnenschutz; TAB, Heft 7, 1976.
315. Zwicker, E.: Ein Verfahren zur Berechnung der Lautstärke; Acustica, Heft 10, 1960.
316. DIN 1102: Holzwolleleichtbauplatten nach DIN 1101, Richtlinien für die Verarbeitung, April 1970.
317. DIN 1104: Mehrschicht-Leichtbauplatten aus Schaumkunststoffen und Holzwolle, Richtlinien für die Verarbeitung, April 1970.
318. DIN 1054: Beton- und Stahlbetonbau, Bemessung und Ausführung, Januar 1972.
319. DIN 1053: Mauerwerk, Berechnung und Ausführung, November 1974.
320. DIN 1318: Lautstarkepegel, 1970.
321. DIN 4108: Wärmeschutz im Hochbau, August 1969.
322. DIN 4108: Ergänzende Bestimmungen, Ministerialblatt 1974.
323. DIN 4108: Beiblatt: Erläuterungen und Beispiele für einen erhöhten Wärmeschutz, November 1960.
324. DIN 4109: Schallschutz im Hochbau, 1962 und ergänzende Bestimmungen; Richtlinien für bauliche Maßnahmen zum Schutz gegen Außenlärm, September 1975.
325. DIN 4150 E: Erschütterungen im Bauwesen, 1971.
326. DIN 4232: Wände aus Leichtbeton mit haufwerksporigem Gefüge, Ausführung und Bemessung, Januar 1972.
327. DIN 5034: Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht, Leitzätze, Dezember 1969.
328. DIN 5034: Beiblatt 1, Berechnung und Messung, November 1963.
329. DIN 5034: Beiblatt 2, Vereinfachte Bestimmung lichttechnisch ausreichender Fensterabmessungen, Juni 1966.
330. DIN 5035: Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht, Jan. 1972/Febr. 1974.
331. DIN 18005 E: Schallschutz im Städtebau, 1976.
332. DIN 18017: Lüftung von Bädern und Spülaborten ohne Außenfenster durch Schächte und Kanäle ohne Motorkraft.
333. DIN 18041: Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen, 1968.
334. DIN 18050: Fensteröffnungen für den Wohnungsbau, September 1955.
335. DIN 18055, Blatt 2: Fenster, Fugendurchlässigkeit und Schlagregensicherheit, August 1973.
336. DIN 18330: Mauerarbeiten, August 1974.
337. DIN 18431: Beton- und Stahlbetonarbeiten, August 1974.
338. DIN 18338: Dachdeckungs- und Dachabdichtungsarbeiten, August 1974.
339. DIN 18350: Putz- und Stuckarbeiten, August 1974.
340. DIN 18352: Fliesen- und Plattenarbeiten, August 1974.
341. DIN 18515: Fassadenbekleidungen aus Naturwerkstein, Betonwerkstein und keramischen Baustoffen, Richtlin ienfür die Ausführung, Juli 1970.
342. DIN 18515. Beiblatt: Fassadenbekleidungen aus Naturwerkstein, Betonwerkstein und keramischen Baustoffen, Richtlinien für die Ausführung — Erläuterungen, Dezember 1973.
343. DIN 18516, E-Teil 1: Außenwandbekleidungen; Bekleidung, Unterkonstruktion und Befestigung, Anforderungen, Januar 1976.

344. DIN 18516, E-Teil 2: Außenwandbekleidungen; Prüfung der Befestigungc von Außenwandbekleidungselementen auf die Unterkonstruktion, Januar 1976.
345. DIN 18530 E: Dächer mit massiven Deckenkonstruktionen, April 1971.
346. DIN 18530 (Vornorm): Massive Deckenkonstruktionen für Dächer, Dezember 1974.
347. DIN 18550: Putz, Baustoffe und Ausführung, Juni 1967.
348. DIN 18550, Beiblatt: Putz, Baustoffe und Ausführung, Juni 1967.
349. DIN 45630: Grundlagen der Schallmessung, 1971.
350. DIN 45631: Berechnung des Lautstärkepegels aus dem Geräuschspektrum, 1967.
351. DIN 45633: Präzisionsschallpegelmesser, 1970.
352. DIN 45635: Geräuschmessung an Maschinen, 1972.
353. DIN 45641: Mittelungspegel und Beurteilungspegel zeitlich schwankender Schallvorgänge, 1975.
354. DIN 45642: Messung von Verkehrsgeräuschen.
355. DIN 45652: Terzfilter für elektroakustische Messungen, 1964.
356. DIN 52210: Luft- und Trittschalldämmung, 1974—1975.
357. DIN 52212: Bestimmung des Schallabsorptionsgrades im Hallraum, 1961.
358. DIN 52214: Bestimmung der dynamischen Steifigkeit von Dämmschichten für schwimmende Estriche, 1970.
359. DIN 52216: Messung der Nachhallzeit in Zuhörerräumen, 1965.
360. DIN 52217: Flankenübertragung, 1971.
361. DIN 52218: Prüfung des Geräuschverhaltens von Armaturen und Geräten der Wasserinstallation im Laboratorium, 1972.
362. DIN 52219: Messung von Geräuschen der Wasserinstallation am Bau.
363. DIN 52220 E: Messungen zur Bestimmung des Luftschallschutzes von Schächten und Kanälen, 1968 (inzwischen zurückgezogen).
364. 2058: Beurteilung von Arbeitslärm in der Nachbarschaft, 1973.
365. 2078: Kühllastregeln.
366. 2081 E: Lärmabwehr bei Lüftungsanlagen, 1963.
367. 2565 E: Beurteilung von Lärm in Wohnungen, 1971.
368. 2571 E:. Schallabstrahlung von Industriehallen, 1970.
369. 2573: Schutz gegen Verkehrslärm, 1974.
370. 2714: Schallausbreitung im Freien.
371. 2716: Geräuschsituation bei Stadtbahnen, 1975.
372. 2718 E: Schallschutz im Städtebau, 1975.
373. 2720: Schallschutz durch Abschirmung (in Vorbereitung).
374. TGL 10687 (DDR): Schallschutz.
375. TGL 10688 (DDR): Meßverfahren der Akustik.
376. Önorm B 8115 (Österreich): Hochbau — Schallschutz und Hörsamkeit, 1959.
377. ISO R 226: Equal Loudness Contours for pure Tones.
378. ISO R 717: Rating of Sound Insulation for Dwellings.
379. Norm Francais S 27: 1945 (Frankreich).
380. TA Lärm, Carl Heymanns-Verlag, 1976.
381. Immissionsschutzgesetz, Bundesgesetzblatt Teill 1, 1974.
382. Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz (Wärmeschutzverordnung) vom 11. August 1977.

СОДЕРЖАНИЕ

Строительная физика — проектирование и применение 5
Часть I

Теплозащита 11
Задачи проектирования 11
Основные положения 11
Указания по конструированию и проектированию 17
Требования и оценка 17
Примеры 23

Диффузия водяного пара 27
Задачи проектирования 27
Основные положения 28
Указания по конструированию и проектированию 44
Требования и оценка 52
Примеры 57

Деформации 68
Задачи проектирования 68
Основные положения 69
Указания по конструированию и проектированию 75
Требования и оценка 79
Примеры 81

Часть II

Дневное освещение 89
Задачи проектирования 89
Основные положения 90
Указания по конструированию и проектированию 98
Требования и оценка 101
Пример 103

Инсоляция 107
Задачи проектирования 107
Основные положения 108
Указания по конструированию и проектированию 110
Требования и оценка 111
Примеры 112

Солнцезащита 115
Основные положения 115
Указания по конструированию и проектированию . . . 119
Требования и оценка 127
Примеры 129

Часть III

Звукоизоляция 130
Физика и физиология 130

Внешний шум 141
Задачи проектирования 141
Основные положения 141
Указания по конструированию и проектированию 145
Требования и оценка 146
Пример 147

Акустика помещений 147
Задачи проектирования 147
Основные положения 147
Указания по конструированию и проектированию 155
Требования и оценка 161
Пример 161
Звукоизоляция от воздушного шума 165

Задачи проектирования 165
Основные положения 166
Указания по конструированию и проектированию 180
Требования и оценка 189
Пример 191
Звукоизоляция от ударного шума 193
Задачи проектирования 193
Основные положения 193
Указания по конструированию и проектированию 203
Требования и оценка 206
Примеры 207
Перенос звука косвенными путями 211
Основные положения 211
Указания по конструированию и проектированию 215
Требования и оценка 218
Инженерное оборудование здания 218
Задачи проектирования 218
Основные положения 219
Указания по конструированию и проектированию 221
Требования и оценка 226
Приложения 228
Список литературы 277

Е. Шильд, Х.-Ф. Кассельман,
Г. Дамен, Р. Поленц

СТРОИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

Редакция переводных изданий
Зав. редакцией М. В. Перевалюк
Редактор М. В. Милейко
Мл. редактор Л. Г. Беглецова
Технический редактор В. Д. Павлова
Корректоры Г. А. Кравченко, Н. С. Сафронова
ИБ—2438

Сдано в набор 23.04.82. Подписано в печать 10.10.82. Формат 60×90 1/16
Бумага типографская № 1. Гарнитура «Литературная» Печать высокая Усл. печ. л. 18,5
Печ. л. 18,5 Усл. кр.отт. 18,5 Уч.-изд. л. 20,44 Тираж 10.000 экз. Изд. № AVI—8725
Зак. № 952 Цена 1 р. 80 к.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а
Московская типография № 4 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
129041, Москва, Б. Переяславская ул., д. 46

ГОТОВИТСЯ К ИЗДАНИЮ

НОЙФЕРТ Э. **Строительное проектирование.** Пер. с нем. — М.: Стройиздат, 1982.

В новом, 30-м немецком переработанном и дополненном издании книги отражены достижения мировой практики строительного проектирования за последние 20 лет. В связи с этим ряд разделов значительно расширен и переработан с учетом применения новых строительных материалов, конструкций и деталей, совершенствования технологии организации строительства и требований технических норм и мировых стандартов. Полностью переработаны разделы «Гидроизоляция фундаментов», «Наружные стены и перегородки», «Крыша», «Строительная физика». Впервые включены разделы «Плоские кровли», «Световые купола», «Конструкции ворот», «Сборные сантехкабины».

Для архитекторов-проектировщиков.

ГОТОВИТСЯ К ИЗДАНИЮ

РЕЙХАРДТ В. **Акустика общественных зданий.** Пер. с нем. — М.: Стройиздат, 1983.

В книге известного специалиста в области акустики (ГДР) в популярной форме изложены основы создания акустики залов и аудиторий различного назначения, описаны способы измерений с использованием моделей, даны рекомендации по проектированию зданий с учетом акустических требований. Приведены примеры современного решения помещений с хорошей акустикой, построенных в ГДР и других странах.

Для широкого круга читателей.